기본연구 2022-09

행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구

Development of an Agent-Based Simulation for Marine Spatial Planning

조성진 · 최희정 · 임종서 · 이혜영 · 김선미

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	**조성진, 최희정, 임종서, 이혜영, 김선미**
내부연구진	연구책임자 조성진 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구자 최희정 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구위원 공동연구자 임종서 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구자 이혜영 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구자 김선미 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원

연구기간	2022. 1. 1. ~ 2022. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	조성진 연구총괄, 제1장, 제4장, 제5장, 제6장
내부연구진	최희정 제2장 임종서 제3장 이혜영 제2장 일부 김선미 제4장 일부

산·학·연·정 연구자문위원	강전영 국립공주대학교 교수 안유순 서울대학교 박사후연구원 최문기 유타대학교 박사과정 홍성연 경희대학교 교수 김태훈 한국해양과학기술원 연구원 박용길 한국해양과학기술원 박사

※순서는 산·학·연·정 순임

발간사

우리나라는 2019년 「제1차 해양공간기본계획(2019-2028)」을 수립한 이래로 2022년 상반기까지 전국 연안 광역지자체의 해양공간관리계획 수립을 완료하였다. 이제는 관리계획의 실효적 이행과 더불어 미래 해양공간의 이용행위를 예측하고 관리계획에 수정·반영하는 것이 중요한 도전과제이다.

향후 해양공간계획 이행 및 해양 활동에 따른 영향과 변화를 인지하는 것은 해양공간의 지속가능한 이용·관리 여부를 판단하는데 중요한 과정이다. 정책 개입으로 인한 현상의 변화와 성과를 확인하는 과학적 수단은 향후 개선사항과 신규 사업을 발굴하는데 필수적인 요소이다. 국제적으로 해양 활동에 따른 영향을 점검하고 효과를 분석하기 위한 다양한 방법에 대한 논의가 이루어지고 있지만, 국가별 생태적·사회경제적 특성이 반영된 해양공간계획에 적용할 수 있는 보편적 도구의 개발은 쉽지 않은 일이다. 따라서 국내 해양공간 관리 여건과 특성을 고려한 정책 이행평가 및 예측을 위한 시뮬레이션 기술 기반의 정책지원 도구의 개발이 절실하다. 또한 이러한 과학적 도구를 이용해 해양 활동의 잠재적 갈등과 불확실성을 사전 예측하고, 대응하는 것이 가능해질 것이다.

이에 본 연구는 해양공간정책의 이행과정에서 시뮬레이션의 역할과 활용 분야를 도출하고, 해양공간계획 실무자 대상의 수요조사를 통해 행위자기반 시뮬레이션 설계 및 개발을 위한 구체적인 사항을 정의하였다. 사례지역인 전라북도에 대한 시나리오 분석과 정책 대상자의 타당성 검증을 통해서 행위자기반 시뮬레이션 기술의 해양공간계획 적용 가능성과 활용성을 평가하였다. 아울러 연구 결과를 토대로 향후 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 개발 및 고도화를 위한 구체적인 방안을 함께 제안하였다. 본 연구는 해양공간 정책뿐만 아니라 국내 공공정책 분야의 시뮬레이션 기술의 개발과 활용을 위한 초석이 된다는 의의가 있다.

이 연구의 책임을 맡은 조성진 전문연구원과 연구진으로 참여한 최희정 연구위원, 임종서, 이혜영, 김선미 전문연구원의 수고에 깊은 감사를 드린다. 또한, 원고 자문을 통해 연구에 실질적인 도움을 주신 공주대학교 강전영 교수, 경희대학교 홍성연 교수께도 감사를 드린다. 이 보고서의 심사와 감리를 맡아 연구의 완성도를 높여준 우리

원의 최상희 연구부원장과 최지연 해양연구본부장, 목진용 명예연구위원, 그리고 외부에서 심사를 맡아주신 해양수산부 장민철 사무관, 부산대학교 정주철 교수, 부경대학교 강대석 교수께도 감사드린다. 그 외에도 이 보고서가 출판되기까지 도움을 주신 모든 분께 필자를 대신하여 감사드린다.

2022년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약 _i

Executive Summary _xi

01 서론 _1

제1절 연구의 배경 및 필요성 1

제2절 연구 목적 및 주요 내용 5

1. 연구 목적 5

2. 연구 내용 및 수행 방법 7

제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토 13

1. 선행연구 현황 13

2. 선행연구와의 차별성 15

제4절 연구의 기대효과 19

02 해양공간계획 시뮬레이션 개발 필요성 _21

제1절 해양공간계획의 이행 현황과 주요 현안 21

1. 해양공간계획 개요 22

2. 해양공간계획 정책 수단 24

3. 해양공간계획 추진 현황 31

4. 해양공간계획 이행 현안 34

제2절 해양공간계획 시뮬레이션 개발 필요성 50

1. 시뮬레이션의 기능과 역할 50

2. 시뮬레이션 활용 부분 56

03 행위자기반 시뮬레이션 관련 연구 동향 분석과 적용 시사점 _61

제1절 행위자기반모형의 개념과 특징 61

1. 복잡계 과학 및 이론적 배경 61
2. 행위자기반모형의 특성 및 시뮬레이션 모형 비교 63
3. 행위자기반모형의 구조 69
4. 방법론적 특성 73

제2절 국내·외 시뮬레이션 개발 및 활용에 관한 연구 동향 77
1. 국내 동향 77
2. 해외 동향 88

제3절 해양공간계획 지원을 위한 시사점 102
1. 시뮬레이션의 구축 및 활용방안 102
2. 행위자기반모형의 적절성 104
3. 행위자기반모형 선행사례 검토 및 시사점 도출 105

04 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 설계 방안 _115

제1절 해양공간계획 시뮬레이션 수요조사 115
1. 정책 수요를 위한 설문조사 115
2. 시뮬레이션 역할 및 기능에 대한 요구사항 분석 123

제2절 행위자기반 시뮬레이션의 적용 범위 128
1. 시·공간적 범위 128
2. 내용적 범위 132

제3절 행위자기반모형의 구성요소 정의 136
1. 행위자 및 환경 정의 136
2. 행위자 및 환경 속성 정의 139
3. 의사결정 규칙 정의 143

제4절 행위자기반모형의 구축 및 검증 방안 148
1. 모형 개발 방법 148
2. 모형 검증 및 타당성 분석 150

05 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 적용·검증분석 _161

제1절 시뮬레이션 사례 대상의 현황 161
1. 전북 해역의 일반 현황 162
2. 전북 해양공간관리계획 현황: 용도구역 포함 164

제2절 시나리오 구성 및 모형 구축 168
1. 정책대안에 따른 시나리오 구성 168
2. 모형의 구성요소 및 파라미터 설정 173
3. 행위자기반모형 설계 및 분석 186

제3절 시뮬레이션 결과 분석 195
1. 시뮬레이션 모형 검증 및 타당성 분석 195
2. 시나리오 분석 결과 207

제4절 시뮬레이션 결과의 시사점 230
1. 해양공간계획 시뮬레이션 결과의 활용 230
2. 행위자기반모형을 적용한 해양공간계획 시뮬레이션 개발 233

06 결론 및 제언 _237

제1절 연구의 요약 및 학술적 기여 237

제2절 향후 연구 방향 242
1. 해양공간계획 시뮬레이션 개발 로드맵(안) 242
2. 해양공간계획 시뮬레이션 활용체계 250

참고문헌 _259

부록 _273

표 목차

〈표 1-1〉 현행 해양공간계획 수립·이행 관련 개선 수요 ····· 3
〈표 1-2〉 본 연구의 차별점 ····· 17
〈표 2-1〉 해양공간특성평가 핵심 해양 활동별 평가항목: 부산 및 경남 예시 ····· 36
〈표 2-2〉 해양공간계획의 데이터 범주: EU 사례 ····· 39
〈표 2-3〉 해양공간계획 과정의 정보 역할 ····· 41
〈표 2-4〉 해양공간계획 과정의 정보 격차 유형 ····· 42
〈표 2-5〉 해양공간계획 과정의 해양공간분석 도구 활용 ····· 48
〈표 2-6〉 해양공간적합성협의 검토 사항 ····· 57
〈표 3-1〉 ABM과 기타 시뮬레이션 모형의 차별점 ····· 65
〈표 3-2〉 공간계획 분야의 주요 시뮬레이션 모형별 특성 비교 ····· 68
〈표 3-3〉 국내 공간계획 적용 사례: 목표와 정책적 활용, 관련 연구 및 보고서 ····· 81
〈표 3-4〉 해외 의사결정 지원시스템 개발 및 활용 사례: 개발 목적 및 주요 기능 ····· 91
〈표 3-5〉 해외 의사결정 지원시스템 개발 및 활용 사례: 방법론 및 활용 ····· 92
〈표 3-6〉 해외 공간계획 적용 사례: 목표와 정책적 활용, 관련 연구 및 보고서 ····· 95
〈표 3-7〉 국내 공간계획 적용 사례: 모형 구축 자료와 방법, 모의 결과 및 활용 ····· 108
〈표 3-8〉 해외 해양정책 의사결정 적용 사례: 모형구축 자료와 방법, 결과 활용 ···· 113
〈표 4-1〉 시뮬레이션 기술 수요조사 개요 ····· 116
〈표 4-2〉 행위자 유형과 목적, 주요 활용 ····· 138
〈표 4-3〉 ABM의 환경 설정 ····· 139
〈표 4-4〉 환경 속성 목록 ····· 143
〈표 4-5〉 해양공간 행위 간 상충계수행렬 ····· 157
〈표 4-6〉 본 연구의 상충계수행렬 ····· 158
〈표 5-1〉 전북 해양공간관리계획 정책 방향 ····· 165
〈표 5-2〉 전북 해양용도구역 지정 현황 ····· 166
〈표 5-3〉 상황별 시나리오 구성 ····· 172
〈표 5-4〉 시나리오 비교·분석 항목 및 목적 ····· 172
〈표 5-5〉 행위자 종류 및 특성, 표현 ····· 173
〈표 5-6〉 어선 행위자의 속성 ····· 175
〈표 5-7〉 유어선 행위자의 속성 ····· 176
〈표 5-8〉 상선 행위자의 속성 ····· 176

〈표 5-9〉 항구의 속성 ····· 177
〈표 5-10〉 격자 공간의 속성 ····· 178
〈표 5-11〉 모형 파라미터 목록 ····· 184
〈표 5-12〉 ABM의 ODD 프로토콜(안) ····· 186
〈표 5-13〉 시뮬레이션 입력 자료 ····· 188
〈표 5-14〉 시뮬레이션 초깃값 설정 ····· 189
〈표 5-15〉 시뮬레이션 산출물 ····· 192
〈표 5-16〉 어선 시뮬레이션 산출물 ····· 193
〈표 5-17〉 유어선 시뮬레이션 산출물 ····· 193
〈표 5-18〉 상선 시뮬레이션 산출물 ····· 194
〈표 5-19〉 시뮬레이션 모형 검증: 종합 분석 결과 ····· 196
〈표 5-20〉 시뮬레이션 기술 설명회 의견 및 반영 계획 ····· 206
〈표 5-21〉 시나리오별 어선의 파라미터(연평균) ····· 208
〈표 5-22〉 시나리오별 유어선의 파라미터(연평균) ····· 216
〈표 5-23〉 행위자기반 시뮬레이션과 기타 시뮬레이션 비교 ····· 236

그림 목차

〈그림 1-1〉 해양공간 통합관리를 위한 과학적 수단 필요 ····· 4
〈그림 1-2〉 해양공간 통합관리 정책 추진 단계 ····· 5
〈그림 1-3〉 연구 목적: 행위자기반 시뮬레이션을 활용한 정책 효과 진단 ····· 6
〈그림 1-4〉 연구 수행 절차 ····· 9
〈그림 1-5〉 연구 수행 체계 및 방법 ····· 10
〈그림 1-6〉 해양공간계획 시뮬레이션 흐름도 ····· 12
〈그림 1-7〉 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 플랫폼 개발 사례 ····· 14
〈그림 1-8〉 ABM과 SD 통합 시뮬레이션의 개념도(예시) ····· 15
〈그림 2-1〉 시도 해양공간관리계획 수립 현황 ····· 23
〈그림 2-2〉 해양공간기본계획의 주요 내용 ····· 26
〈그림 2-3〉 해양공간관리계획의 개요 및 수립 절차 ····· 28
〈그림 2-4〉 해양공간의 특징 ····· 34
〈그림 2-5〉 해양생태계서비스 정의 및 유형 ····· 35
〈그림 2-6〉 국내 해양공간계획 이행 수단의 한계 ····· 49
〈그림 2-7〉 해양공간계획 시뮬레이션의 역할 ····· 50
〈그림 2-8〉 해양공간계획 이행을 위한 정보 유형 ····· 53
〈그림 2-9〉 해양공간계획을 위한 해양생태계서비스 이해 ····· 54
〈그림 2-10〉 MSP Challenge Simulation Platform ····· 55
〈그림 2-11〉 해양공간계획 시뮬레이션의 활용 분야 ····· 56
〈그림 2-12〉 해양용도구역 지정 및 관리 절차별 시뮬레이션 역할과 기능 ····· 60
〈그림 3-1〉 ABM의 구조 ····· 70
〈그림 3-2〉 ABM의 의사결정 규칙 ····· 71
〈그림 3-3〉 공간적 ABM의 응용 분야 ····· 72
〈그림 3-4〉 ABM 개발 단계 ····· 73
〈그림 3-5〉 패턴 기반 모델링 ····· 74
〈그림 3-6〉 ABM을 활용한 국내 정책 의사결정 지원시스템 개발 사례 ····· 82
〈그림 3-7〉 ABM을 활용한 국내 주거지재생정책 효과 모의 연구 사례 ····· 83
〈그림 3-8〉 국내 주거지재생정책 효과 모의 사례의 이주-재정착 프로세스 개념도 ·· 84
〈그림 3-9〉 국내 주택구매소비자 의사결정 추정 모형 구축 사례 ····· 85
〈그림 3-10〉 국내 환경규제 및 관리정책 효과 모의 연구 사례 ····· 86

〈그림 3-11〉 SimReef의 해양의 사회환경 및 자연환경 구성요소와 상호작용 ····· 97
〈그림 3-12〉 해상풍력-아비새 모형의 아비새 이동 패턴 모의 사례 ····· 98
〈그림 3-13〉 MarPEM 모형의 구조 ····· 99
〈그림 3-14〉 POSEIDON 모형의 구조 ····· 101
〈그림 4-1〉 해양공간계획 이행 시 어려움에 관한 응답 결과 ····· 117
〈그림 4-2〉 해양공간계획 이행의 개선사항에 관한 응답 결과 ····· 118
〈그림 4-3〉 해양공간계획 장기적 비전에 관한 응답 결과 ····· 119
〈그림 4-4〉 해양공간계획 제도에서 시뮬레이션의 역할에 관한 응답 결과 ····· 121
〈그림 4-5〉 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 활용 분야에 관한 응답 결과 121
〈그림 4-6〉 시뮬레이션 제약요인에 관한 응답 결과 ····· 122
〈그림 4-7〉 시뮬레이션의 개선사항에 관한 응답 결과 ····· 123
〈그림 4-8〉 시뮬레이션 분석의 공간적 범위 ····· 129
〈그림 4-9〉 벡터와 래스터 방식 비교 ····· 130
〈그림 4-10〉 3분 격자(좌)와 1.5분 격자(우) 체계(전북 해역 예시) ····· 131
〈그림 4-11〉 기존 용도구역에 미래 수요를 반영한 유도구역 개념 ····· 133
〈그림 4-12〉 어선 행위자의 활동 규칙: 인과지도 ····· 144
〈그림 4-13〉 유어선 행위자의 활동 규칙: 인과지도 ····· 145
〈그림 4-14〉 상선 행위자의 활동 규칙: 인과지도 ····· 146
〈그림 4-15〉 행위자 간 상호작용 개념도: 인과지도 ····· 147
〈그림 4-16〉 행위자-환경 간 상호작용 개념도: 인과지도 ····· 148
〈그림 4-17〉 NetLogo 화면 ····· 149
〈그림 4-18〉 AnyLogic 화면 ····· 150
〈그림 4-19〉 모형 검증 방법 및 장단점 ····· 152
〈그림 4-20〉 국지적 G 통계량 실행 예시 ····· 154
〈그림 4-21〉 상충지수 분석 예시 ····· 158
〈그림 4-22〉 시뮬레이션 결과의 분석 방안 ····· 159
〈그림 5-1〉 전북 연안의 인구 변화 ····· 163
〈그림 5-2〉 전북 서남권 해상풍력 발전사업 집적화단지 개요 ····· 164
〈그림 5-3〉 전북 해양용도구역 도면 ····· 167
〈그림 5-4〉 시나리오 분석의 절차 ····· 169

〈그림 5-5〉 시나리오 구성을 위한 핵심 요소(축) 설정 ····· 171
〈그림 5-6〉 ABM의 공간환경 요소: 항구 & 공간 격자 ····· 174
〈그림 5-7〉 AnyLogic의 statechart 예시 ····· 179
〈그림 5-8〉 어선의 행위에 대한 Statechart ····· 180
〈그림 5-9〉 유어선의 행위에 대한 Statechart ····· 181
〈그림 5-10〉 상선의 행위에 대한 Statechart ····· 182
〈그림 5-11〉 ABM의 구성요소 및 파라미터 ····· 185
〈그림 5-12〉 시뮬레이션 인터페이스: 시나리오 및 모델 파라미터 설정 ····· 190
〈그림 5-13〉 시뮬레이션 인터페이스: 대시보드 ····· 191
〈그림 5-14〉 어선 시뮬레이션 결과 비교: 월별 출항 어선 수 ····· 196
〈그림 5-15〉 어선 시뮬레이션 결과 비교: 평균 출항 일수 ····· 197
〈그림 5-16〉 유어선 시뮬레이션 결과 비교: 월별 출항 선박 수 ····· 198
〈그림 5-17〉 유어선 시뮬레이션 결과 비교: 평균 출항 일수 ····· 198
〈그림 5-18〉 누적영향지수 분포(좌측)와 국지적 통계량(우측) ····· 200
〈그림 5-19〉 환경·생태계 특성평가(좌측), 용도구역 지정 현황(우측) ····· 201
〈그림 5-20〉 공간상충지수 분포(좌측)와 국지적 통계량(우측) ····· 202
〈그림 5-21〉 사례 해역의 용도구역 지정 현황 ····· 203
〈그림 5-22〉 기술 설명회 전경 ····· 204
〈그림 5-23〉 시나리오별 어선 수익의 월별 변화 ····· 209
〈그림 5-24〉 시나리오별 어선 수익 변화 및 추세선 ····· 211
〈그림 5-25〉 시나리오별 어선 비용의 월별 변화 ····· 212
〈그림 5-26〉 시나리오별 어선 비용 변화 및 추세선 ····· 213
〈그림 5-27〉 시나리오별 어선 효율성의 월별 변화 ····· 214
〈그림 5-28〉 시나리오별 어선 효율성 변화 및 추세선 ····· 215
〈그림 5-29〉 시나리오별 유어선 수익의 월별 변화 ····· 218
〈그림 5-30〉 시나리오별 유어선 수익의 변화 및 추세선 ····· 218
〈그림 5-31〉 시나리오별 유어선 비용의 월별 변화 ····· 220
〈그림 5-32〉 시나리오별 유어선 비용의 변화 및 추세선 ····· 221
〈그림 5-33〉 시나리오별 유어선 효율성의 월별 변화 ····· 222
〈그림 5-34〉 시나리오별 유어선 효율성의 변화 및 추세선 ····· 223

〈그림 5-35〉 누적영향지수 단계구분도 ····· 225
〈그림 5-36〉 누적영향지수의 국지적 통계량 분포 ····· 226
〈그림 5-37〉 공간상충지수 단계구분도 ····· 228
〈그림 5-38〉 공간상충지수의 국지적 통계량 분포 ····· 229
〈그림 5-39〉 정책 효과의 시계열 분석 사례: 월별 어선 조업량 ····· 234
〈그림 5-40〉 정책 효과의 가시적 분석 사례: 격자별 행위 모델링 ····· 235
〈그림 5-41〉 정책 효과의 세분화 사례: (좌측)공간상충지수, (우측)누적영향지수 · 236
〈그림 6-1〉 연구의 한계점 및 개선사항 ····· 241
〈그림 6-2〉 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵(안) ····· 243
〈그림 6-3〉 PostgreSQL 시스템 아키텍처 ····· 245
〈그림 6-4〉 인과지도를 이용한 개념모델 예시 ····· 247
〈그림 6-5〉 해양공간정책 수립 의사결정 지원체계: 해양용도구역 지정 ····· 252
〈그림 6-6〉 해양공간정책 이행 의사결정 지원체계: 적합성협의 업무 ····· 253
〈그림 6-7〉 해양수산부 기존 사업 및 지자체 연계 방안 ····· 254
〈그림 6-8〉 해양공간계획 지원시스템(MSP-SS) 프레임워크(안) ····· 257
〈그림 6-9〉 디지털 트윈 3단계 구현 레벨 ····· 258

약어 및 용어해설

- GIS(Geographic Information System: 지리정보시스템): 지리 데이터와 정보를 연구, 연구, 분석 및 처리하는 기술
- ODD(Overview, Design concepts, and Details) 프로토콜: 행위자, 환경 등 모델링 개체와 각 개체의 행위 및 상호작용 규칙을 포함한 행위자기반모형의 설계 규칙
- 격자 체계(Grid system): 국토를 직각으로 교차하는 가로(n)선과 세로(m)선으로 구분하여 n×m 개로 구획하여 표현하는 공간 단위(mesh)의 집합
- 공간분석(Spatial analysis): 원본 데이터로부터 새로운 정보와 의미를 뽑아내기 위해 공간정보를 처리하는 과정
- 공간상충분석(Spatial conflict potential): 활동 지점이 겹치거나 동일한 공간적 활동 지점을 차지하는 둘 이상의 활동 간의 상충 정도를 평가하는 것
- 공청회(Public hearing): 주민들로부터 의견을 청취, 수렴하여 국가정책에 반영하는 것
- 누적영향평가(CIA: Cumulative impact assessment): 당해 행위가 과거, 현재, 그리고 미래의 행위에 더해질 때 증가하는 영향으로부터 야기되는 환경 영향을 분석하는 것
- 단위 노력 당 어획량(CPUE: Catch Per Unit Effort): 총어획량을 총어획노력량으로 나눈 것으로 자원량 지수로 적용
- 래스터(Raster): 실세계를 열과 행으로 배치된 화소들의 배열로 구성된 공간 데이터[1)]
- 모형 복잡도(Model complexity): 모형의 변수가 많고 차수가 높거나, 또는 데이터가 고차원이거나 너무 많아서 적절한 모델을 구축하지 못하는 정도
- 미시적 수준(Micro-scale): 사물이나 현상을 전체적인 면이 아닌 개별적으로 포착하여 분석하려는 방식
- 벡터(Vector): 실세계를 점, 선 면 등 객체를 통해 좌표로 표현하는 공간 데이터
- 복잡계 과학(Complexity science): 수많은 구성 요소의 상호작용을 통해 각자 특성과는 다른 새로운 현상과 질서가 나타나는 시스템을 연구하는 분야
- 상황 시나리오(Case scenario): 일반적인 추세에서 벗어나는 특수한 상황을 전제로 하는 시나리오
- 선적항(Port of loading): 선박이 등록된 항구

1) 유병혁(2013.6.13.), GIS 데이터 이해하기(검색일: 2022.4.12.)

- 시나리오 분석(Scenario analysis): 미래에 일어날 수 있는 상황을 생각하여, 해당 상황에 따른 영향을 조사하고 평가하는 과정
- 시뮬레이션(Simulation): 물리적 또는 추상적인 시스템을 모델로 표현하고, 그 모델을 사용해서 실험하는 일
- 시스템 다이내믹스(SD: System Dynamics): 복잡한 피드백이나 비선형적 구조를 통해 자연적·사회적 시스템을 다루는 방법론
- 어획 능력(Catch capacity): 주어진 자원량이나 어류의 연령 구성 및 현재 기술 수준에서 어선을 완전히 사용하여 일정 기간에 생산할 수 있는 최대생산량[2)]
- 어획노력량(Fishing efforts): 출어선 수, 항해 수, 어구 수, 어획 시간 등 어업 생산에 투입된 양
- 어획량(Catch): 단일 어종별 연간 어획할 수 있는 양
- 유도구역(Inducing zones): 미래의 이용수요 및 현황을 반영하여 해양공간의 향후 용도를 사전에 정하는 구역의 의미함.
- 정책 시뮬레이션(Policy simulation): 정책대안의 실현으로 인한 변화 및 효과를 사전에 예측하기 위해 수행하며, 정책환경의 변화에 적합한 새로운 지식 및 정보를 산출하기 위해 시뮬레이션을 활용하는 것
- 정책 수용성(Policy acceptance): 정부 정책 지침이나 방향 등에 대한 순응 또는 동조하는 정도
- 정책 환경(Policy environment): 정책 의사결정에 영향을 미치는 모든 자연적, 인문적 요소
- 해양공간(Marine space): 내수 · 영해, 배타적 경제수역 · 대륙붕 및 해안선으로부터 지적공부에 등록된 지역까지의 사이를 포함하는 공간[3)]
- 해양공간계획(MSP: Marine Spatial Planning): 인간의 해양 활동과 해양자원을 통합적으로 관리하기 위하여 수립하는 계획[4)]
- 해양공간계획법(Marine spatial planning law): 해양공간의 지속가능한 이용과 개발, 보전에 관한 계획의 수립 및 집행에 필요한 사항을 정하여 공공복리를 증진하고 해양의

2) 김정호·이광남(2008), p. 167.
3) 해양공간계획법 제2조
4) *Ibid.*

풍요로운 삶의 터전을 조성하는 것을 목적으로 제정된 법률로, 해양공간기본계획과 용도구역의 지정과 행위규제, 환경관리에 관한 사항을 포함[5)]

- 해양공간관리계획(Marine spatial management plan): 해양공간의 통합관리를 위해 해역의 특성과 이용·개발 및 보전수요 등을 고려하여 용도구역 지정 등 관리 방향을 설정하기 위한 계획[6)]
- 해양공간기본계획(Marine spatial framework plan): 10년마다 수립하는 계획으로, 해양공간의 부문별 정책과 계획 간 조화와 균형을 실현하고 해양공간의 활동에 관한 정책 결정을 위한 최상위 계획[7)]
- 해양공간적합성협의(Marine spatial suitability review): 해양 이용·개발계획의 수립·변경, 지구·구역 등의 지정·변경 지정 시 해양공간계획과의 부합 여부, 입지 적정성 등을 해양수산부와 사전에 협의하는 절차[8)]
- 해양공간특성평가(Marine spatial characteristic evaluation): 수집·분석된 자료·정보를 토대로 해양 이용·개발·보전 가치를 과학적으로 평가하여 핵심 활동 선정 및 용도별 상충 분석 등을 실시하는 평가[9)]
- 해양용도구역/용도구역(Marine use zones): 해양공간특성평가 결과, 법적·제도적 기준, 해양 이용·개발 및 보전수요 등을 고려하여 용도별 구역 지정[10)]
- 행위자기반모형(ABM: Agent-Based Model): 시스템을 구성하는 행위자 및 행위 규칙을 통해 미시적 토대로부터 발생하는 거시적 패턴을 분석하기 위해 제안된 시뮬레이션 기법
- 현상 유지 시나리오(BAU scenario: Business-As-Usual scenario): 어떤 인위적 조작이 없는 현재의 추세를 바탕으로 하는 시나리오

5) 해양공간계획법 제1조
6) 해양공간계획법 제7조
7) 해양공간계획법 제5조
8) 해양공간계획법 제15조
9) 해양공간계획법 제2조
10) *ibid.*

요 약

행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구

조성진 · 최희정 · 임종서 · 이혜영 · 김선미

1. 연구 배경 및 목적

- **해양공간계획 수립 및 이행과정에서 발생하는 갈등 및 상충을 예방하고, 미래 환경변화에 능동적으로 대응하기 위한 과학적 정책지원 수단이 부재한 상황**
  - 최근 코로나19, 국제무역 갈등, 기후변화 등 미래의 불확실성과 정책 이행과정에서 예상되는 다양한 갈등 요소를 예측하고, 정책 수단에 대한 지역주민의 이해도와 정책 수용성을 개선하기 위한 지원 수단이 필요한 시점임.
- **본 연구는 미시적 수준에서 해양공간정책의 영향 및 효과를 사전 평가할 수 있는 행위자기반 시뮬레이션 개발을 목적으로 함**
  - 해양공간계획 제도의 현황 및 현안 분석을 통해서 시뮬레이션 기술 도입의 필요성 및 역할을 정의하고, 기술 동향 분석, 설문조사 등을 통해서 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 역할과 요구사항을 분석함.
  - 행위자기반모형을 적용한 시뮬레이션을 설계하고, 프로토타입 모형을 개발하여 사례지역을 대상으로 시나리오 기반 시뮬레이션 분석을 수행하여 시뮬레이션의 검증과 타당성을 평가함.

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구 방법

- **시뮬레이션 기술 도입의 필요성과 역할을 정의하기 위하여 문헌조사를 통해 국내 해양공간계획 제도의 개요와 정책 수단을 검토하고, 지자체 관리계획 수립의 경험과 관련 자료를 토대로 계획 추진 현황과 현안을 검토함.**
- **문헌조사 및 전문가 세미나를 통해 국내·외 시뮬레이션 기술의 공공정책 분야 활용 사례를 분석하여 시뮬레이션의 개발과 활용 방안에 대한 아이디어를 도출함.**
  - 국내 공공정책 분야의 시뮬레이션 기술 활용 사례에 대한 문헌조사와 전문가 세미나를 통해 시뮬레이션의 개발과 활용 방안에 대해 논의함. 특히, 공간계획 분야에 적용된 국내 사례를 검토하여 행위자기반모형의 기술적인 고려사항을 검토함.
  - 문헌조사를 통해 해외 해양공간계획 및 해양수산분야에서 시뮬레이션 기술을 활용한 사례를 비교 검토하고, 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 개발 및 활용 시사점을 도출함.
- **해양공간계획 담당 실무자를 대상으로 설문조사를 실시하여 해양공간계획 업무지원을 위한 시뮬레이션의 요구사항과 고려사항에 대한 의견을 수렴함.**
  - 해양수산부와 지자체 담당자(31명)를 대상으로 해양공간계획 현안 및 시뮬레이션 기술에 대한 요구사항에 대해 인터넷 설문조사를 실시함.
- **앞서 기술의 역할과 개발 방안, 수요조사 등을 참고하여 모형의 적용범위, 구성요소를 포함한 행위자기반 시뮬레이션을 설계하고, 구체적**

인 모형의 구축 및 검증 방안에 대해서 논의함.

- 미시적 수준에서 행위자의 행위와 상호작용 규칙을 모델링하여 관심 현상을 규명하는 행위자기반모형을 적용하여 시뮬레이션을 설계함.

▪ **시뮬레이션의 정책적 활용 가능성을 평가하기 위해 프로토타입 모형을 개발하고, 시뮬레이션 모형의 검증 및 타당성 분석을 위해서 사례지역을 대상으로 시나리오 기반 시뮬레이션 분석을 수행함.**

- 해양공간계획의 정책 수단인 용도구역 지정, 정책 이행에 영향을 미치는 정책수용성, 해상풍력단지, 기후변화 등 정책환경에 대한 시나리오를 구성하여 적용함.

▪ **연구 성과를 기초로 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵과 해양공간계획 지원을 위한 구체적인 활용체계를 수립하여 제안함.**

2) 연구의 특징

▪ **본 연구는 행위자기반모형이라는 해양수산 분야의 선행연구에서 거의 적용되지 않은 새로운 시뮬레이션 접근방법을 적용하여 미시적 수준(micro-scale)에서 해양공간정책 수단으로 인한 해양공간의 행위자와 환경변화를 모의함.**

- 국토, 도시, 교통 등 육상의 공공정책 분야에 행위자기반모형을 적용한 국내 사례는 일부 있으며, 해외는 수산 정책의 효과를 진단하는데, 행위자기반모형을 활용함.
- 행위자기반모형은 평가대상을 행위자와 공간환경으로 세분화할 수 있고, 시뮬레이션 결과의 시계열 변화 과정을 가시적으로 표현하여 일반인도 쉽게 이해할 수 있어 유용한 정책지원 수단임.

▪ **문헌조사, 자문회의, 설문조사 등을 통해서 정책 시뮬레이션 기술의**

필요성 및 역할, 요구사항 및 타당성 분석을 수행하여 모형의 설계 및 개발과정에 반영하고, 구체적인 개발 및 활용 방안에 대한 로드맵과 활용체계를 수립하는데 적용함.

- 해양공간계획 실무자와 이해당사자를 대상으로 설문조사와 자문회의를 시행하여 향후 개발 기술이 정책 업무에 활용되도록 요구사항과 보완사항에 대해 세심하게 검토함.

▪ **해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 적용 및 활용 가능성을 평가하기 위해 전북 해역에 대한 사례분석을 시행하고, 시뮬레이션의 정확도와 신뢰도를 위해 모형 검증과 타당성 분석을 수행함.**

- 실무자 대상의 설문조사 결과에서 나타난 시뮬레이션의 활용성과 신뢰도 검증을 위해서 전북 지역을 사례로 시뮬레이션 분석을 수행함.
- 통계분석, 공간분석, 해양 이용자 대상 기술 설명회를 통해서 시뮬레이션 결과에 대한 모형 검증 및 타당성 분석을 수행함.

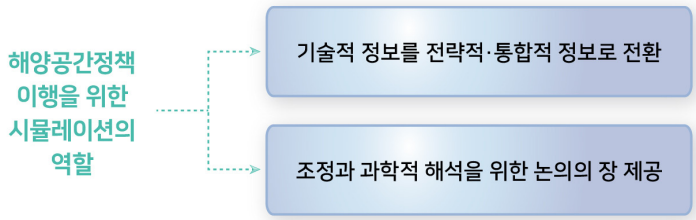
▪ **본 연구의 성과를 바탕으로 향후 시뮬레이션의 개발을 위한 로드맵과 활용체계를 수립하여 제안함.**

3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

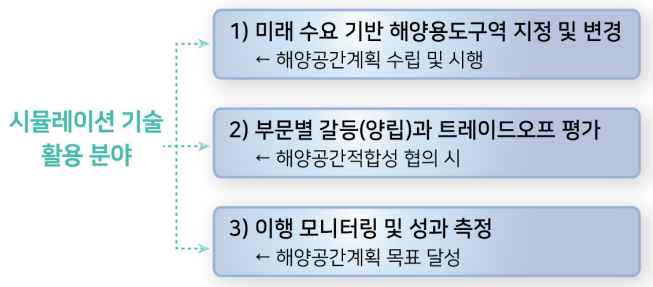
▪ **문헌조사와 국내 해양공간계획 제도, 지자체 관리계획 수립의 경험과 관련 자료를 토대로 계획 추진 현황과 현안을 검토하여 시뮬레이션 기술 도입의 필요성과 역할을 정의함.**

〈요약 그림 1〉 해양공간계획 시뮬레이션의 역할



자료: 저자 작성

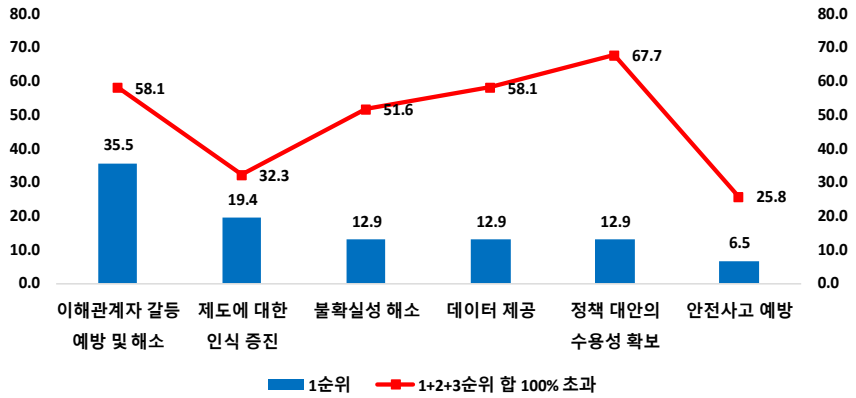
〈요약 그림 2〉 해양공간계획 시뮬레이션의 활용 분야



자료: 저자 작성

- 해양공간계획 실무 담당자 대상의 설문조사를 통해 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 요구사항 및 제약사항을 도출함.

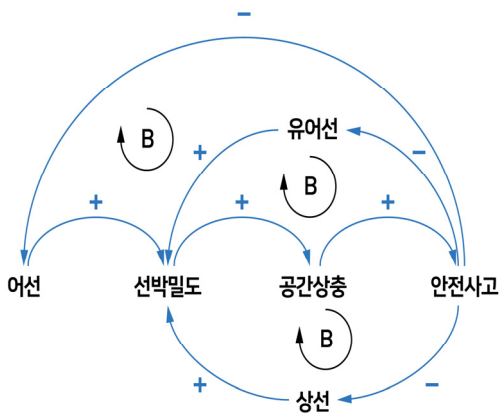
〈요약 그림 3〉 해양공간계획 제도에 있어서 시뮬레이션의 역할에 관한 응답 결과



자료: 저자 작성

- 기술의 역할 및 요구사항을 토대로 시뮬레이션의 시·공간적, 내용적 적용 범위를 설정하고, 행위자 및 공간환경의 구성요소의 행위와 상호작용 규칙을 정의함.

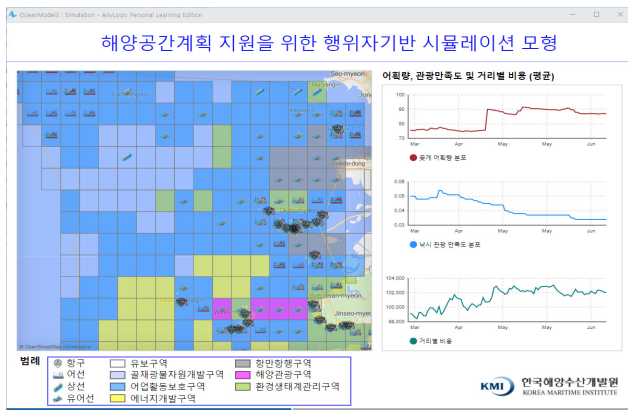
〈요약 그림 4〉 행위자 간 상호작용 개념도: 인과지도



자료: 저자 작성

▪ 모형 설계를 기초로 사례지역의 해양공간계획 현안과 데이터 여건을 고려하여 AnyLogic 소프트웨어를 이용해 프로토타입 모형을 개발함.

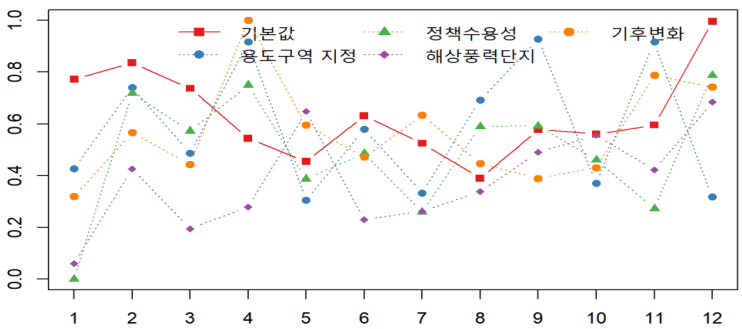
〈요약 그림 5〉 시뮬레이션 인터페이스: 대시보드



자료: 저자 작성

▪ 시뮬레이션의 검증 및 타당성 분석을 위해서 통계분석과 공간분석, 그리고 모델링 대상인 해양공간 이용 당사자와 전문가 대상의 기술설명회를 통한 타당성 분석을 수행함.

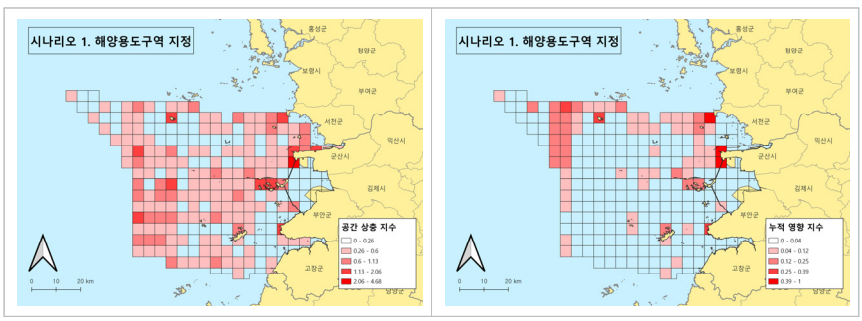
〈요약 그림 6〉 시나리오별 어선 효율성의 월별 변화



자료: 저자 작성

- 관측자료와의 비교 결과로 양호한 수준의 모형 정확도를 보였으며, 공간분석지표를 이용한 타당성 분석 결과는 대체로 사례지역의 현황을 잘 반영하는 것으로 나타남.

〈요약 그림 7〉 정책 효과의 세분화 사례: (좌측)공간상충지수, (우측)누적영향지수



자료: 저자 작성

▪ **사례분석을 포함한 연구 결과를 토대로 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵을 제안하고, 해양공간계획 실무 적용을 위한 구체적인 활용체계를 수립함.**

〈요약 그림 8〉 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵(안)

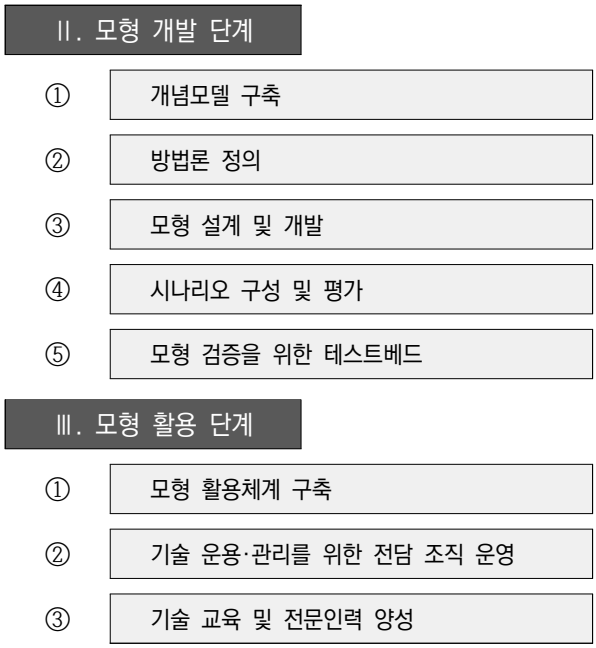
Ⅰ. 기반 구축 단계

① 자료 협력 체계 및 데이터베이스 구축

② 기술 수요 및 요구사항 분석

③ 현황 분석 및 평가 대상 선정

④ 기술 자문단 구성 및 운영



자료: 저자 작성

2) 활용 방안 등 기대효과

▪ **본 연구 성과는 학술적 측면에서 다음과 같은 효과를 기대할 수 있음**

- 시뮬레이션 개발을 통해 다양한 정책지원시스템 개발에 활용하여 관련 분야의 학술적 성장에 이바지
- 관련 산·학·연 전문가에게 연구 성과를 공유하여 시뮬레이션 성과의 추세, 활용 현황 등을 통해 정량적인 결과 데이터를 종합하여 우수과제 발굴
- 데이터를 활용한 해양 활동의 예측 기술은 장기적으로 해양공간의 효율적 관리, 해양 생태 문제, 기후변화 문제 등의 다양한 학술 분야로 확장
- 해양공간정책에서 미래 예측과 전망을 위한 시뮬레이션 방법을 적용한 첫 사례로 향후 해양정책 분야의 학술 연구범위 확장

- **본 연구에서 개발한 행위자기반 시뮬레이션은 해양공간계획을 포함한 해양공간정책 분야에서 다음과 같은 활용성을 기대할 수 있음**
  - 해양공간 수요 확대와 다변화되는 변화 속에 능동적 대응체계를 마련하여 신속·정확한 정책적 의사결정 지원 정보를 제공
  - 해양공간계획 수립 및 이행과정에서 발생할 수 있는 다양한 갈등 요소를 사전 탐색하고, 관리하는데 적용
  - 미래 정책환경의 예측 및 미래 수요를 고려한 용도구역 및 유도구역 지정

EXECUTIVE SUMMARY

Development of an Agent-Based Simulation for Marine Spatial Planning

Sung-Jin Cho · Hee-Jung Choi · Jong-Seo Yim · Hye-Yeong Lee · Sun-Mi Kim

1. Purpose

- There are no scientific policy support measures to prevent conflicts that arise in the process of establishing and implementing marine spatial planning and to respond to future environmental changes.
  - It is time to predict future uncertainties such as COVID-19, international trade conflicts, the results of climate change, and various conflict factors expected in the policy implementation process, and to improve residents' understanding of policy measures and policy acceptance.
- The purpose of this study is to develop an agent-based policy simulation that can evaluate the effects of marine spatial policy at the microscopic level.
  - The necessity and role of simulation technology are defined

through analysis of the current status and pending issues of the marine spatial planning system. And the role and requirements of policy simulation for supporting marine spatial planning are analyzed through analysis of technology trends and surveys.

- A policy simulation applying an agent-based model is designed, and a prototype model is developed. And scenario-based simulation analysis is performed on the case area to evaluate the verification and validity of the simulation model.

2. Methodology and Features

1) Methodology

▪ To define the necessity and role of policy simulation technology, the outline and policy means of the domestic marine spatial planning system are reviewed through a literature review. And the current status and issues of planning are reviewed based on the experience of the local government's marine spatial management planning.

▪ Through literature surveys and expert seminars, domestic and foreign simulation technologies are analyzed to derive ideas for the development and utilization of policy simulation.

- The development and utilization of simulation models are discussed through literature surveys and expert seminars on cases of simulation technology used in the domestic public

policy field. In particular, technical considerations of the agent-based model are considered by reviewing domestic cases applied to the field of spatial planning.

- Through literature research, cases using simulation technology in overseas marine spatial planning and marine fisheries are compared and reviewed. And implications for developing and using agent-based simulation to support marine spatial planning are derived.

▪ A survey is conducted on practitioners in charge of marine spatial planning to collect opinions on the requirements and considerations of the agent-based simulation for supporting the work of marine spatial planning.

- An Internet survey is conducted on current issues of marine spatial planning and requirements for simulation technology by 31 respondents from the Ministry of Oceans and Fisheries and local government.

▪ We design an agent-based simulation model including the scope and components of the model by referring to the role of technology, the development plan, and a demand survey, while discussing specific model construction and verification plans.

- A simulation is designed by applying an agent-based model that identifies the phenomenon of interest by modeling the behavior and interaction rules of the agent at the microscopic level.

▪ A prototype model is developed to evaluate the policy

applicability of the simulation model, and a scenario-based simulation analysis is performed on the case area for verification and feasibility analysis of the simulation model.

- Scenarios for policy environments such as the designation of use zones, policy acceptance affecting policy implementation, offshore wind farms, and climate change are organized and applied for simulation analysis.

▪ Based on the research results, a roadmap for developing an agent-based simulation and a specific utilization system for supporting marine spatial planning are established and proposed in this study.

2) Features

▪ This study simulates changes in the agents and environments of marine space due to marine spatial policy means at a micro-scale by applying a new simulation approach that has been rarely applied in previous studies in the field of marine fisheries called the agent-based model.

- There are some domestic cases in which the agent-based model has been applied to the field of public policy on land, city, and transportation. And overseas, an agent-based model has been used to diagnose the effect of fisheries policy.
- An agent-based model can be subdivided into agents and spatial environments, and it is a useful policy support tool that the general public can easily understand by visually expressing the

time series change process of simulation results.

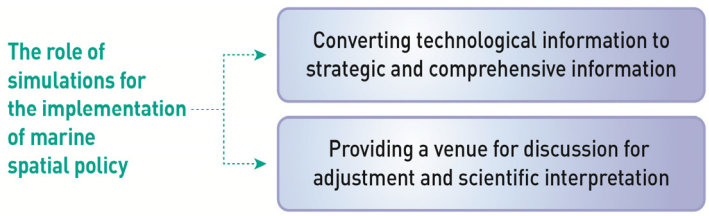
- The necessity, role, requirement, and feasibility of policy simulation technology are analyzed through a literature review, advisory meetings, and surveys, reflected in the design and development process of the model and applied to establish a roadmap and application system for specific development and utilization plans.
  - We conducted surveys and advisory meetings with marine spatial planning practitioners and stakeholders to carefully review the requirements and supplements to ensure that simulation technology are used for policy work.
- A case study is conducted on Jeonbuk waters to evaluate the applicability and utilization of policy simulations to support marine spatial planning, And model verification and feasibility analysis are performed for the accuracy and reliability of the simulation model.
  - To verify the usability and reliability of the simulation model shown in the survey results for practitioners, a simulation analysis was performed as an example in the Jeonbuk region.
  - Model verification and feasibility analysis of simulation results are performed through statistical analysis, spatial analysis, and technical briefing sessions for marine users.
- Based on the results of this study, the roadmap and application system for the development of future policy simulation is established and proposed.

3. Results

1) Summary

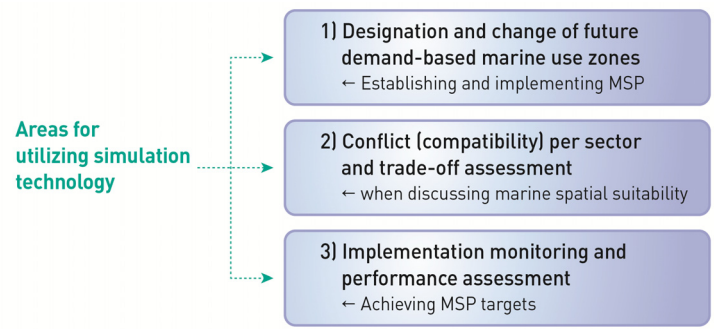
- Based on the literature review, the domestic marine spatial planning system, and the experience and related data of the local government's marine spatial management plan, the current status and issues of planning are reviewed to define the necessity and role of policy simulation technology.

〈Summary Pic 1〉 Role of MSP simulations



자료: 저자 작성

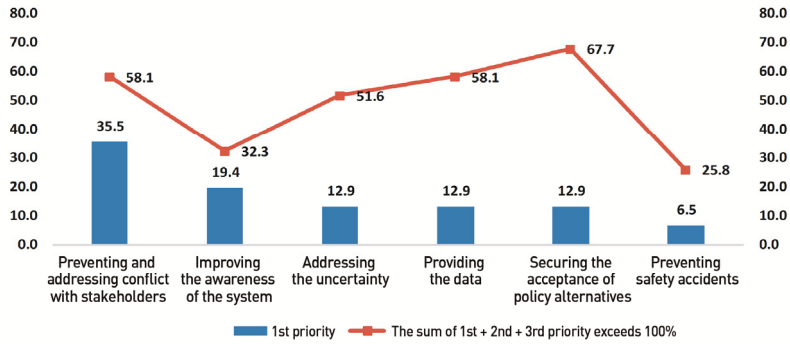
〈Summary pic 2〉 Areas for utilizing MSP simulations



자료: 저자 작성

▪ The requirements and limitations of simulation technology for supporting marine spatial planning are derived through a survey of the person in charge of marine spatial planning practice.

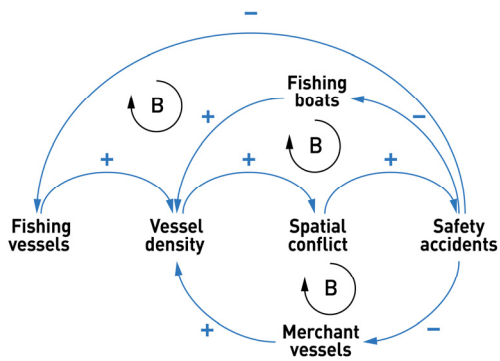
〈Summary pic 3〉 Result of responses on the role of simulations in MSP



Source: Prepared by the authors

▪ Based on the role and requirements of the technology, the time-space and content coverage of the simulation model is established. And the behavior and interaction rules of the agents and components of the spatial environment are defined.

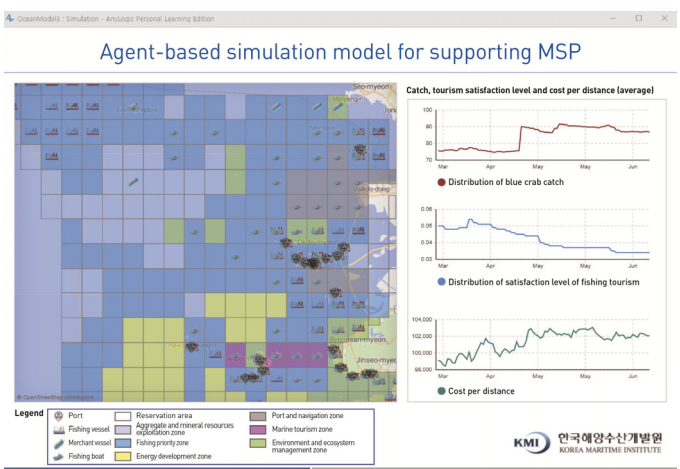
〈Summary pic 4〉 Concept diagram of
interaction between agents: Causal loop map



Source : Prepared by the authors

- Based on the model design, a prototype model is developed using AnyLogic software in consideration of the marine spatial planning issues and data conditions in the case area.

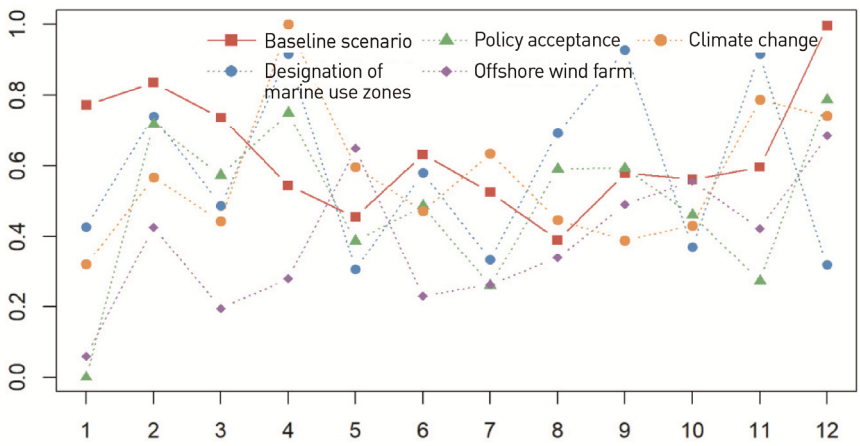
〈Summary pic 5〉 Simulation interface: Dashboard



Source : Prepared by the authors

▪ For the verification and feasibility analysis of the simulation model, statistical analysis and spatial analysis are performed, and feasibility analysis is performed through technical briefing sessions for parties and experts using the marine space that is being modeled.

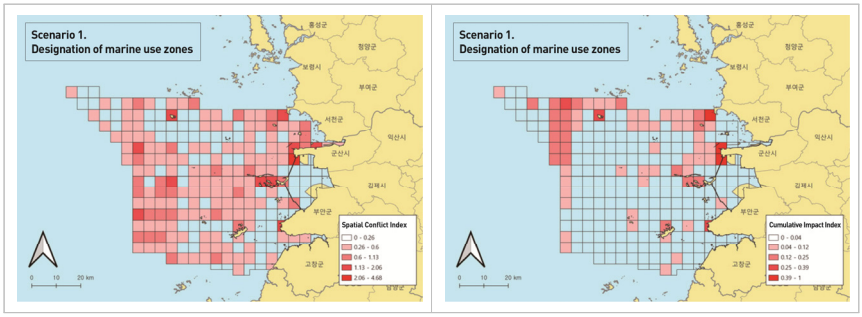
〈Summary pic 6〉 Monthly change of fishing boat efficiency by scenario



Source: Prepared by the authors

- The results of comparison with the observed data show a good level of model accuracy, and the results of feasibility analysis using spatial analysis indicators generally reflect the current status of the case area.

〈Summary pic 7〉 Cases of policy effect specification: (Left) Spatial Conflict Index. (Right) Cumulative Impact Index



자료: 저자 작성

- Based on the study results including case analysis, a roadmap for developing a simulation for marine spatial planning is proposed. And a specific utilization system is established for the practical application of marine spatial planning.

〈Summary pic 8〉 Draft roadmap for the development of MSP simulations

Ⅰ. Foundation construction stage

① Build a data cooperation system and database

② Analyze technological demand and requirements

③ Analyze the current status and select assessment targets

④ Organize and operate the technological advisory council

Ⅱ. Model development stage

① Build a concept model

②	Define methodologies
③	Design and develop a model
④	Set up and assess scenarios
⑤	Test-bed for model verification

Ⅲ. Model utilization stage

①	Build a model utilization system
②	Operate a dedicated organization for technological operation and management
③	Conduct technological training and develop professionals

2) Expected benefits and Outcomes

▪ The results of this study can be expected to have the following effects from an academic perspective.

- It will contribute to the academic growth of related fields by using it to develop various policy support systems through the development of an agent-based simulation.
- Research results will be shared with related industries, academia, and research experts to find excellent tasks by synthesizing quantitative result data through the trend of simulation performance and utilization status.
- In the long run, prediction technology of marine activities using data will expand to various academic fields such as efficient management of marine space, marine ecological problems, and

issues involved with climate change.

- As the first case of applying simulation methods for future prediction and outlook in marine spatial policy, the scope of academic research in the field of marine policy will be expanded.

▪ The policy simulation developed in this study can be expected to have the following applications in the field of marine spatial policy including marine spatial planning.

- While expanding demand for marine space and diversifying changes, an active response system will be established to provide quick and accurate policy decision support information.
- It will be applied to explore and manage various conflict elements that may arise in the process of establishing and implementing marine spatial planning.
- It will be used to designate use zones and induction zones in consideration of future policy environment prediction and future demand.

01
서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

최근 해양공간을 이용하는 해상풍력, 골재채취, 해수 담수화 등이 활발해지면서 어획, 항만 등 전통적인 이용행위와의 갈등이 심화되고 있으며, 해양환경 및 생태계에 대한 위협 및 훼손도 증가하고 있다. 이러한 배경에서 우리나라는 해양공간의 이용에 따른 갈등을 사전 예방하고, 해양공간의 '선(善)계획 후(後)이용' 원칙을 바탕으로 해양공간관리를 제도화하고 있다.

해양공간계획(MSP: Marine Spatial Planning)은 해양공간의 통합계획 체제로, 근래 영국, 벨기에, 네덜란드 등 유럽의 연안국가를 중심으로 해양공간의 이용이 복잡해짐에 따라 해양공간의 통합관리를 위한 정책 수단으로 도입하여 적용하고 있다. 우리나라는 2015년 정부 차원의 논의 결과를 바탕으로 2018년 「해양공간계획 및 관리에 관한 법률」(이하'해양공간계획법')을 제정하고, 동 법에 근거해 「제1차 해양공간기본계획(2019~2028)」을 수립하였다. 기본계획을 바탕으로 11개 연안 광역지자체의 해역에 대한 해양용도구역 지정 및 관리 방향 등을 포함하고 있는 해양공간관리계획을 경상북도 해양공간을 마지막으로 22년 6월에 모두 수립·완료하였다.

해양공간관리계획(이하 '관리계획')의 수립 절차는 자료 수집 및 해양공간특성평가 등 해양용도구역 설정을 위한 과정 외에도, 지역협의회, 공청회 등 다양한 이해관계자로부터 해양용도구역(안)을 포함한 관리계획 전반에 대한 의견을 수렴하는 과정을 포괄한다. 결국 이러한 절차는 해양공간계획이라는 새로운 제도에 대한 이해와 참여를 통해서 정책 수용성을 확보하기 위한 과정이라 볼 수 있다. 해양공간계획의 정책 수립과정은 해양공간의 주무 부처 중심의 Top-Down 방식이 아닌, 실제 해양공간을 이용하는 집단으로부터 현황을 확인하고, 해양공간의 효율적 이용이 가능한 대안을 당사자로부터 직접 수렴하는 Bottom-Up 방식을 적용하고 있다. 관리계획 수립 이후에 연안 지자체별로 관리계획을 이행하는 과정도 이와 크게 다르지 않다. 따라서 해양공간계획의 성공적인 이행은 해양공간을 실제 이용하는 어민, 관광객 등 이해당사자로부터 정책 수용성을 확보에 달려있다.

해양공간계획의 이러한 취지에도 불구하고 지난 3년간 연안 지자체의 관리계획 수립 과정을 살펴보면 정책 수용성을 포함해 여러 가지로 어려움이 많았다. 최희정 외(2021)[11]의 연구에서 수행했던 해양공간계획 인식에 대한 설문조사에서 나타난 결과는, 해양공간계획의 수립 및 이행에 있어서 미흡한 요소로 '과학적 수단 활용'과 '중복활동의 조정 및 타 부서 간 협의'를 가장 많이 지적하였다. 이러한 문제점은 결국 해양공간계획이라는 새로운 제도에 대한 이해 부족과 더불어, 제한된 해양공간 내에 이용행위 간 공존하기 어려운 배타적 특성으로 인해 용도구역 지정안에 대한 이해당사자의 불수용 가능성이 존재하기 때문이다.

11) 최희정 외(2021), p. 161.

〈표 1-1〉 현행 해양공간계획 수립·이행 관련 개선 수요

문항 및 응답	응답 수(%)
문: 해양공간계획 수립 및 이행과 관련된 기능 중 미흡한 요소	
1) 해양공간특성평가 등 과학적 수단 활용	8 (24.2)
2) 중복 활동 조정, 타 부서 간 협의	8 (24.2)
3) 개별 용도구역별 활동 점검 및 관리	7 (21.2)
4) 지방자치단체와 중앙정부와 조율	6 (18.2)
5) 해양용도구역 지정 및 변경	3 (9.1)
6) 이행점검 및 성과 평가	1 (3.0)
문: 해양공간계획의 집행에 어려움이 많아 개선이 필요한 요소	
1) 업무의 책임과 권한 모호	11 (33.3)
2) 갈등의 의견 조율	11 (33.3)
3) 공간정보 부재	4 (12.1)
4) 전문성 부족	4 (12.1)
5) 관심 및 참여 부족	3 (9.1)

자료: 최희정 외(2021), p. 161.

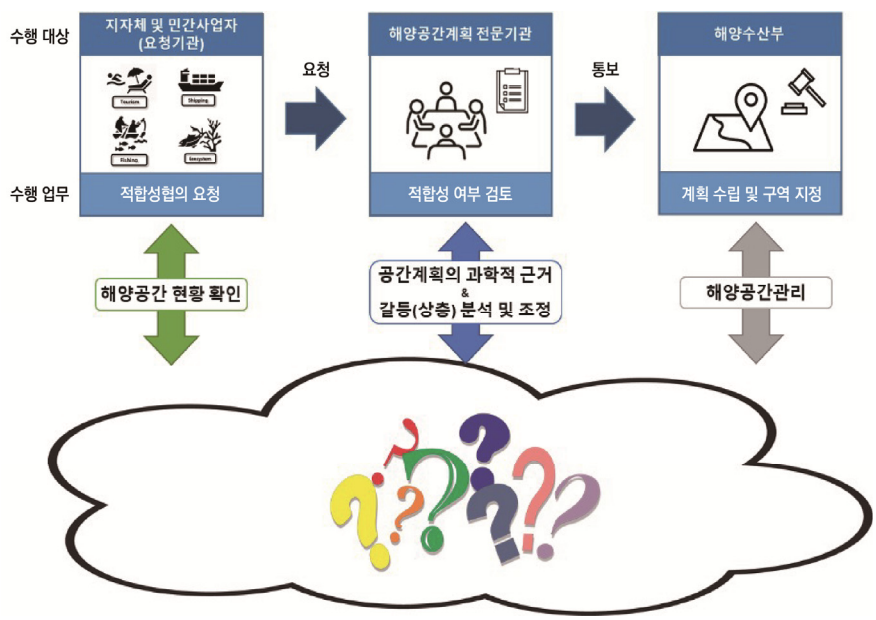
현행 해양공간계획은 활용 가능한 자료의 여건상 관리계획 수립 시점의 해양공간 이용 현황에 기초하여 용도구역을 지정하므로 미래 이용·개발 수요를 반영하지 못한다. 따라서 미래 해양공간의 잠재적 갈등 요소를 사전에 탐색하여 예방하는 데 제도적 한계점을 가지고 있다. 또한, 용도구역 설정으로 인한 해양환경 및 생태계, 개발 및 이용행위에 대한 효과와 영향을 판단할 수 있는 객관적 근거가 없어 배타적 특성의 용도구역 대안에 대해 이해당사자를 설득하기 어렵다.따라서 해양공간계획 이행에 따른 미래의 해양공간 및 이용행위를 변화를 추정하여 제도에 대한 이해도 및 인식을 개선하고, 향후 갈등 요소를 예방할 수 있는 과학적 수단이 필요한 시점이다.

국내·외에서 다양한 정책 분야의 효과를 예측하고 대안을 평가하기 위한 수단으로써 시뮬레이션을 적용하는 연구를 수행하고 있다. 우리나라는 주로 국토관리, 교통, 환경, 경제 분야 관련 정책의 수립 및 평가 과정에서 시뮬레이션 기술을 이용한 정책지원시스템을 개발하여 활용하고 있다. 해외에서는 해양수산 정책의 효과를 사전 진단하고, 해양생태계 및 지역사회

에 대한 영향을 평가하기 위해 해양 활동에 대한 재현성을 높이는 시뮬레이션 모델링 개념을 도입하여 적용하고 있다.

해양자원의 이용 및 갈등이 증폭됨에 따라 정책평가에 있어서 개별 요소에 대한 영향은 물론, 요소 간 상호작용에 대한 미시적 분석의 필요성이 증대된다. 해양공간은 물리적 경계가 없고, 자연과 인문 요소가 유기적으로 연결되어 해양정책의 효과가 여러 경로로 광범위하게 나타나 그 효과를 파악하기 어렵다. 특히, 해양공간계획은 해양환경 및 생태계, 수산, 항만, 해운, 관광 등 해양의 여러 분야에 영향을 미치며 복잡한 이해관계로 인해 종합적인 검토가 필요하며, 이를 위한 과학적 수단으로서의 시뮬레이션 개발이 필요하다.

〈그림 1-1〉 해양공간 통합관리를 위한 과학적 수단 필요



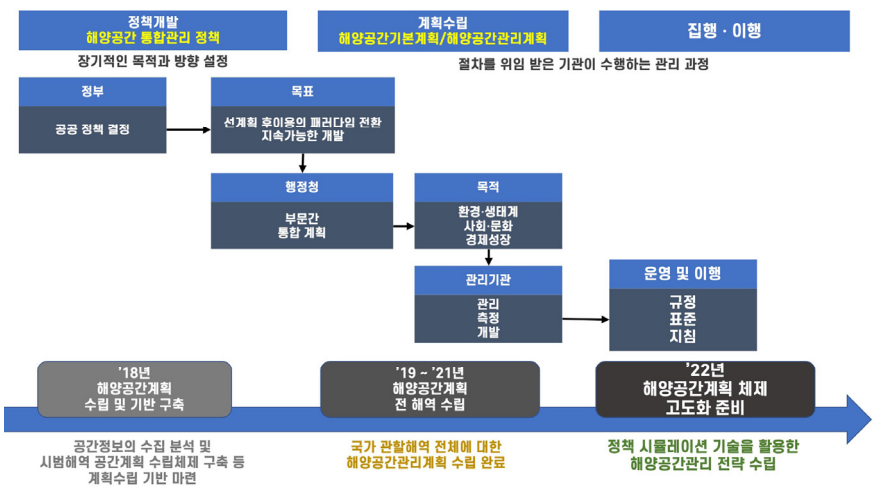
자료: 저자 작성

제2절 연구 목적 및 주요 내용

1. 연구 목적

2019년부터 시작된 연안 지자체 관할구역에 대한 해양공간관리계획 수립이 2022년 올해로 3년 차에 접어들면서 올해 상반기에 모든 연안 지자체의 관리계획 수립을 완료하였다. 우리나라 해양공간 통합관리 정책 추진 과정은 1단계 정책개발, 2단계 계획 수립을 거쳐 3단계인 집행 및 이행 시점에 도달한 것이다. 집행 및 이행의 단계는 앞서 여러 절차에 의해 수립된 해양공간계획을 토대로 해양 실무에 적용하여 해양환경·생태계의 보전과 이용·개발의 지속가능성을 증진하도록 해야 한다. 따라서 해양공간계획의 이행과정을 효과적으로 지원할 수 있는 과학적 수단의 개발을 통해 계획체제를 보다 고도화시킬 필요성이 있다. 해양공간 통합관리 정책의 추진 단계는 〈그림 1-2〉와 같다.

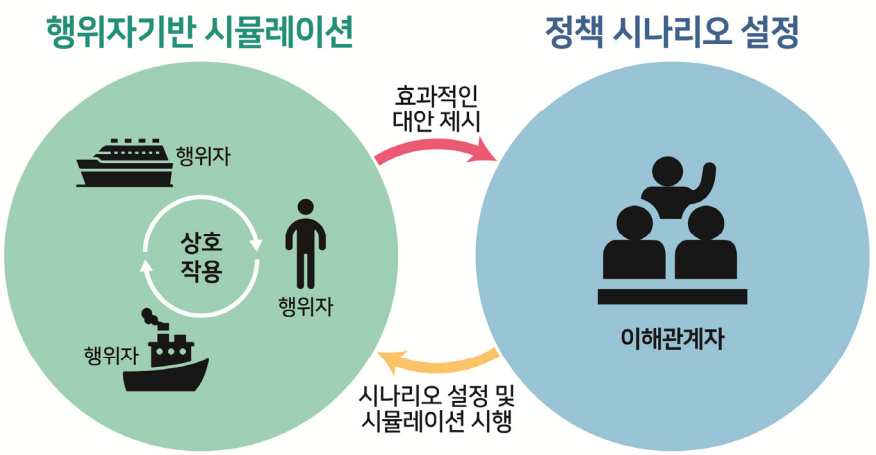
〈그림 1-2〉 해양공간 통합관리 정책 추진 단계



자료: 저자 작성

본 연구는 해양공간계획 수립 및 이행과정을 지원하기 위한 과학적 수단으로써 시뮬레이션 개발의 필요성을 진단하고, 시뮬레이션 방법론으로써 행위자기반모형(ABM: Agent-Based Model, 이하 'ABM')의 적절성 및 적용 가능성을 평가하고자 한다. 이를 위해서 첫째, 제도 분석 및 전문가 자문을 통해 해양공간계획 이행지원을 위한 시뮬레이션 도입의 필요성을 검토하였다. 둘째, 방법론 연구 및 동향 분석을 토대로 해양공간계획 시뮬레이션으로써 ABM의 적절성을 검토하였다. 셋째, 시뮬레이션 수요조사와 전문가 의견을 토대로 행위자기반 시뮬레이션의 개발 및 활용 방안을 도출하고, ABM의 구성요소인 행위자와 행위 및 상호작용의 규칙을 설계하였다. 넷째, 시나리오 분석을 활용한 사례 연구를 통해 행위자기반 시뮬레이션의 적용·활용 가능성을 평가하였다. 마지막으로, 연구의 결과와 한계점을 요약하고, 향후 연구를 위한 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션의 개발 로드맵과 활용 방안을 제안하였다.

〈그림 1-3〉 연구 목적: 행위자기반 시뮬레이션을 활용한 정책 효과 진단



자료: 저자 작성

2. 연구 내용 및 수행 방법

1) 연구 내용

시뮬레이션(simulation)은 문제 해결을 위해서 실제와 유사한 상태를 모형으로 구성하여 모의적으로 반복 연산을 수행하여 그 변화 과정을 파악하는 기술이다.[12] 정책 분야에서는 주로 정책대안의 실현으로 발생하는 변화 및 효과를 사전에 예측하기 위해 시뮬레이션 분석을 수행하며, 정책환경의 변화에 적합한 새로운 지식 및 정보를 산출하기 위해 활용한다. 시뮬레이션 분석을 위한 모형(simulation model)은 불확실한 입력과 의사결정이 관심 대상에 미치는 영향을 계산하는 수학적 모델로, 실제 환경에 대한 성능을 예측하기 위해 만든 물리적 모델의 디지털 복제품으로 정의된다. 따라서 시뮬레이션을 이용해 정책대안에 따른 정책 대상의 적응 과정을 디지털 환경에서 재현할 수 있다.

본 연구는 해양공간계획 이행에 따른 해양 활동의 변화를 미시적 수준에서 예측 및 분석할 수 있는 행위자기반 시뮬레이션을 개발하고자 한다. 해양공간관리 제도의 현황 및 현안을 살펴보고, 시뮬레이션 기술의 역할과 요구사항을 검토하여 해양공간계획 지원을 위한 행위자기반 시뮬레이션을 설계한다. 설계 내용을 토대로 시뮬레이션의 실무 적용과 활용 가능성을 검증하기 위한 프로토타입 모형을 개발하고, 정책대안 및 환경변화에 따른 시나리오 분석을 통해 사례지역을 대상으로 ABM을 실증한다.

목표 달성을 위해 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 도입의 필요성을 진단하고, ABM의 적절성 및 적용 가능성을 평가하는 내용을 다룬다. 서론에 이어서 보고서의 장별 세부 내용은 다음과 같다. 먼저 제2장에서는 해양공간계획 이행을 위한 시뮬레이션 도입의 필요성을 검토할 것이다. 본

12) Banks(1999), p. 7.

연구에서 시뮬레이션 기술을 적용할 해양공간계획 제도의 도입 배경과 목적 등 동향을 살펴보고, 구체적인 정책 방향과 수단으로써 해양공간 기본계획과 관리계획, 용도구역과 적합성협의에 관해서 설명하겠다. 이어서 해양공간계획 이행과정의 문제점을 정책수용성과 갈등 조절의 측면에서 검토하고, 이를 위한 대안으로 시뮬레이션 기술의 역할을 도출할 것이다.

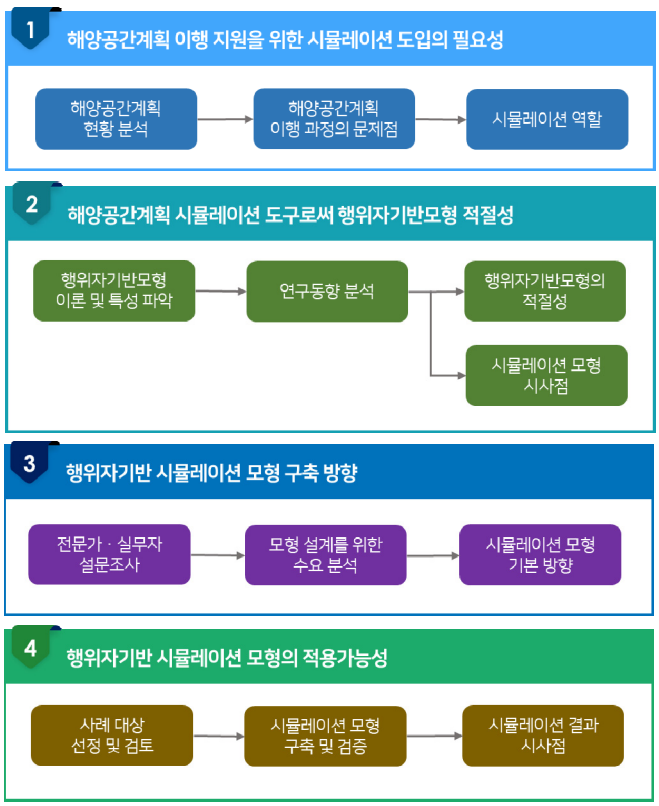
다음 제3장에서는 해양공간계획 시뮬레이션 도구로써 ABM의 적절성을 평가할 것이다. 먼저 ABM의 이론적 배경이 되는 복잡계 과학과 ABM을 구성하는 요소를 중심으로 방법론적 특성에 대해서 볼 것이다. 이어서 국내·외 정책 분야의 시뮬레이션 연구 사례를 개발과 활용의 양측 면에서 비교·검토하여 시뮬레이션 도구로써 ABM의 적절성과 정책 시뮬레이션 적용 방안에 대한 시사점을 도출할 것이다.

제4장에서는 행위자기반 시뮬레이션의 구축 방향에 관한 내용으로써, 해양공간계획에 관한 기술 수요를 조사하여 해양공간계획 이행을 위한 기술의 요구사항 및 보완점을 파악할 것이다. 이를 바탕으로 시뮬레이션의 시간, 공간, 내용적 적용 범위와 해양공간계획 지원을 위한 ABM의 구성요소를 정의하겠다. 아울러 행위자기반 시뮬레이션의 개발과 시뮬레이션 결과의 분석 방법에 대한 구체적인 논의를 진행할 것이다.

제5장에서는 사례 연구를 통해 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성을 평가할 것이다. 이를 위해 먼저 사례지역인 전북 해역의 일반 현황과 관리계획 및 용도구역 현황을 살펴볼 것이다. 이어서 시뮬레이션 분석을 위한 시나리오 구성과 행위자, 환경, 규칙 등 사례 모형의 구성요소를 소개하겠다. 후반부에는 시뮬레이션 모형의 검증을 위한 과정과 시나리오 결과의 해석을 위한 공간분석 결과를 제시할 것이다. 또한, 이를 토대로 해양공간계획 지원을 위한 ABM의 적용 가능성과 시뮬레이션 기술의 활용성에 대한 시사점을 도출할 것이다.

제6장에서는 연구의 내용을 요약하고 연구의 성과와 한계점을 기술의 필요성과 역할의 관점에서 살펴볼 것이다. 또한, 해양공간계획 시뮬레이션 기술 개발을 위한 장기적인 로드맵(안)을 제시하고 제도 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 활용 방안에 대해서 전문가 의견을 토대로 논의할 것이다. 마지막으로, 해양공간계획 제도에 따른 해양공간의 변화를 예측 및 분석할 수 있는 시뮬레이션 기술의 개발을 위한 향후 과제를 정책환경과 활용체계의 측면에서 제안할 것이다.

〈그림 1-4〉 연구 수행 절차

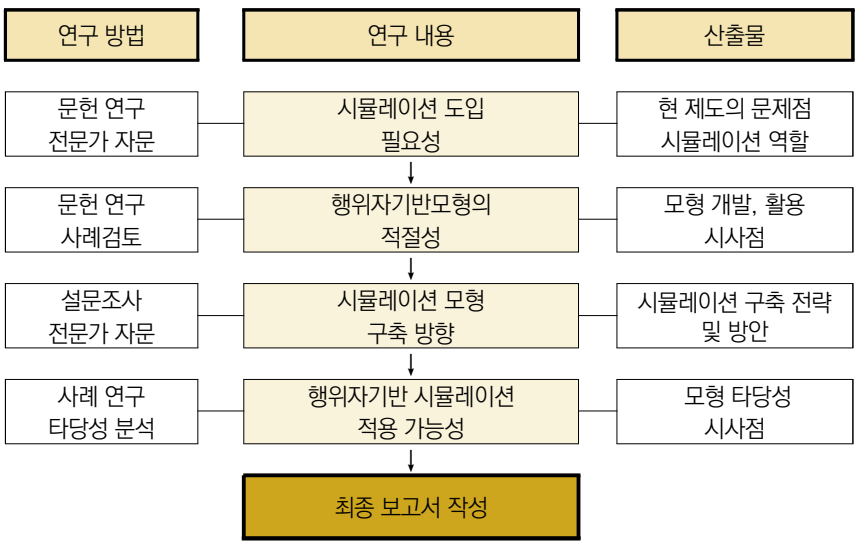


자료: 저자 작성

2) 연구 방법

본 연구의 목적은 해양공간계획의 효과적인 이행을 지원하기 위한 행위자기반 시뮬레이션 개발이다. 이러한 연구의 목적을 달성하기 위한 수행체계 및 방법은 다음과 같다.

〈그림 1-5〉 연구 수행 체계 및 방법



자료: 저자 작성

가. 문헌 연구

본 연구에서 수행하는 문헌 연구는 시뮬레이션 연구 동향 및 본 연구의 차별성 검토, 해양공간계획 동향 분석, 시뮬레이션 개발 및 활용에 대한 국내·외 사례분석을 목적으로 수행하였다. 구글스칼라(Google scholar), RISS, DBPIA 등 국내·외 학술검색용 DB를 이용하여 키워드, 저자, 서지 등 정보검색을 통해 문헌 연구에 필요한 자료를 수집하였다. 문헌 검색에

적용한 키워드는 시뮬레이션(simulation), 행위자기반모형(agent-based model), 정책지원(policy support), 해양공간계획(marine spatial planning), 의사결정 지원시스템(DSS) 등을 포함한다. 문헌 연구는 학술논문, 정책보고서, 관련 법령, 기타 자료들을 대상으로 수행하였다.

나. 설문조사

해양공간계획 이행지원을 위한 시뮬레이션 기술의 필요성과 역할을 고찰하기 위해 해양공간계획 정책 실무를 담당하는 중앙부처(해양수산부) 및 광역지자체 담당자(30명)를 대상으로 기술 수요를 조사하였다. 조사 방식은 인터넷을 통한 설문조사이며, 설문 문항은 총 17개로 응답자 기본 정보(5문항) 외에, 해양공간계획 제도에 관한 인식(5문항)과 해양공간 정책 시뮬레이션 기술에 관한 인식(6문항)으로 구성되어 있다. 시뮬레이션 기술에 대한 응답자의 이해를 위해서 조사 양식에 시뮬레이션의 정의 및 활용, 해양공간 정책 시뮬레이션에 관한 설명문을 추가하고 인포그래픽을 삽입하였다.[13)]

다. 전문가 세미나 및 자문

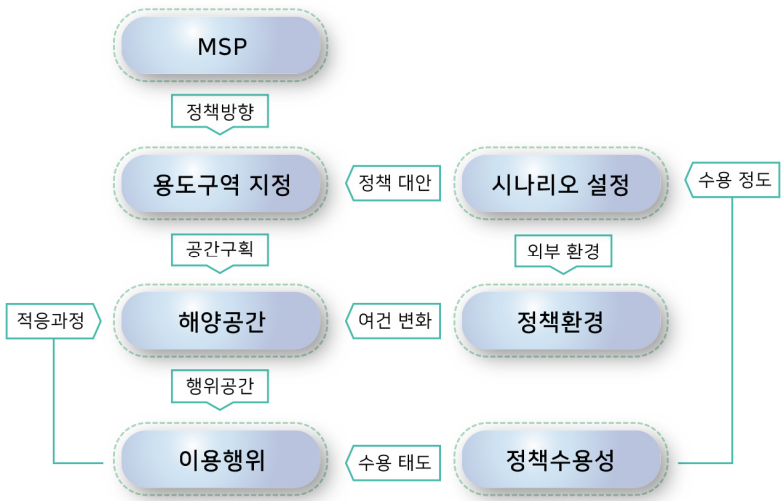
시뮬레이션의 설계 및 개발, 활용에 대한 전문가 의견을 수렴하기 위해 세미나와 자문회의를 개최하였다. 먼저 해양 데이터 분야의 전문가를 섭외하여 시뮬레이션 분석을 위한 입력 데이터(항적 및 어획량 데이터)의 수집 및 전처리 방법을 자문하였다. 또한, 정책 시뮬레이션 연구를 수행한 정책 전문가를 대상으로 세미나를 개최하여 다양한 사례와 함께 정책 시뮬레이션 기술의 개발 및 활용에 관한 다양한 의견을 청취하였다. ABM을 설계 및 개발하기 위한 구체적인 방법을 검토하기 위해서 관련 학계 전문가를 초청하여 자문회의를 열고 의견을 수렴하였다. 마지막으로, 시뮬레이션 사례분석의 결과와 시사점을 토대로 전문가 자문회의를 주최하여 연구의 한계점과 향후 과제에 대해 논의하였다.

13) 보고서 부록(pp. 278-294) 참고

라. 사례 연구

해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 활용 가능성과 행위자기반 시뮬레이션의 적절성 및 적용 가능성을 평가하기 위해 사례분석을 수행하였다. 사례분석은 해양공간관리계획을 수립한 연안 광역지자체 중 전라북도를 대상으로 해양용도구역 설정 대안 및 정책환경 변화에 따른 해양공간 및 이용행위의 변화를 시나리오 분석을 통해 추정하였다. 정책대안과 해양공간 및 이용행위, 그밖에 자연·인문환경 요소 간 공간적 상관성에 대한 공간분석, 특정 공간에서 발생하는 미래 행위의 상대적 집합 정도를 측정하는 누적영향평가, 그리고 동일 공간에서 발생하는 두 행위의 충돌 정도를 가리키는 공간상충분석 등의 분석 결과를 통해 시사점을 도출하였다. 사례분석의 시사점은 연구의 성과와 한계점에서 활용하며, 향후 과제를 도출하는데 참고할 수 있다.

〈그림 1-6〉 해양공간계획 시뮬레이션 흐름도



자료: 저자 작성

제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토

1. 선행연구 현황

선행연구와 본 연구의 차별점을 탐색하기 위해서 공공정책 분야에서 시뮬레이션 기술을 개발·활용한 국내·외 선행연구를 검토하였다. 선행연구는 내용적 측면과 방법론적 측면에서 구분하고, 국내·외 사례를 검토하여 다음과 같이 정책 시뮬레이션 기술의 동향을 분석하였다.

가. 내용적 측면

정책 시뮬레이션과 관련한 선행연구는 도시 공간구조의 변화, 환경경제 분석, 국토정책의 효과분석, 그리고 해양 분야에서는 해양생태계 관리, 해양관광산업의 영향, 어업정책의 평가 등에 대한 주제로 연구가 수행되었다.

우리나라는 주로 국토, 도시, 교통, 환경 등 분야에서 관련 정책의 효과를 분석하거나 공간변화를 예측하기 위한 목적으로 시뮬레이션 모형 및 시스템을 개발하는 연구들이 수행되었다. 해외의 해양 분야는 주로 해양생태계의 보전과 관리, 해양관광산업이 지역경제에 미치는 영향, 어업정책 수단으로 인한 효과 등을 분석하기 위한 정책 시뮬레이션을 개발·활용하는 연구들이 수행되었다.

〈그림 1-7〉 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 플랫폼 개발 사례



자료: MSP Challenge(검색일: 2022.6.20.)

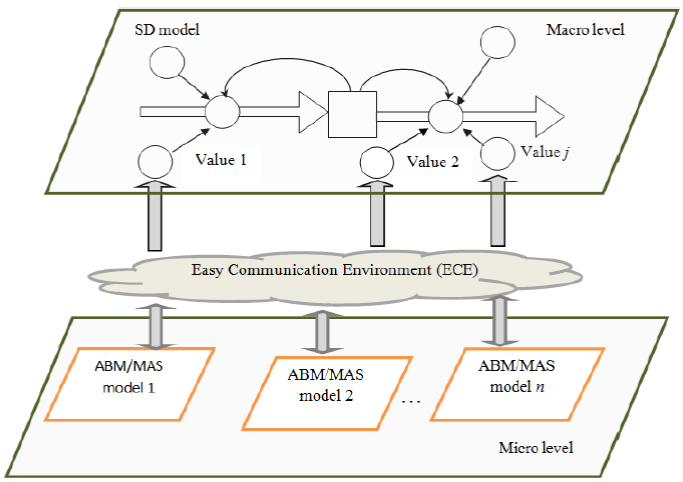
나. 방법론적 측면

많은 선행연구에서 빅데이터를 기초로 미시적 수준에서 시스템 구성원의 행위 및 상호작용을 모의하는 ABM을 방법론으로 채택하고 있으며, 이 외에도 시스템 구성요소 간 순환적 인과관계에 기초해 시계열적 변화를 추정하는 시스템 다이내믹스 등을 적용하고 있다.

국내 사례의 경우, 정책 시나리오에 따라서 국토계획 및 도시계획 등으로 인한 공간변화를 ABM을 이용해 추정하고, 환경정책, 해양수산정책의 효과 및 수요에 대한 빅데이터 및 시뮬레이션 기법의 활용 가능성을 검토하고 있다. 해외에서는 해양생태계, 관광산업과 타 영역의 상호작용 및 영

향에 대한 추정을 위해 ABM과 시스템 다이내믹스 기법을 활용하고 있으며, 또한 공간 데이터의 처리 및 분석을 위해 GIS 및 공간통계기법을 활용하고 있다.

〈그림 1-8〉 ABM과 SD 통합 시뮬레이션의 개념도(예시)



자료: Aizstrauts et al.(2013), p. 37.

공공정책 분야에서 시뮬레이션 기술을 활용한 선행연구는 3장에서 보다 상세하게 살펴볼 것이다.

2. 선행연구와의 차별성

본 연구에서는 해양공간계획 이행지원을 위해 시뮬레이션을 적용하고자 한다. 따라서 시뮬레이션 기술을 개발·이용한 국내·외 선행연구를 고찰하여 연구 목표, 대상, 범위, 방법론 측면에서 다음과 같이 차별점을 검토하였다.

정책 분야에서 시뮬레이션 기술을 적용한 선행연구는 국토 및 도시 등 물리적 공간구조의 변화를 예측하거나,[14] 관련 정책으로 인한 부동산시장의 동태적 분석을 수행하였다.[15] 해양 분야에서는 관련 제도로 인한 수산업의 영향을 평가하는 데 시뮬레이션 기술을 활용하였다.[16] 반면에 본 연구는 해양공간계획이라는 구체적인 정책 수단으로 인한 해양 이용 및 환경·생태의 적응 과정을 재현하여 정책의 효과를 진단하기 위해 시뮬레이션 기술을 활용한다. 또한, 해양공간계획 실무에서 시뮬레이션 기술을 개발·활용하기 위한 장기 로드맵과 활용체계를 제안한다.

시뮬레이션을 활용한 선행연구는 감염병, 해상사고 등 재난 상황에서 전파경로나 대피경로를 분석하거나,[17] 관광산업, 해상풍력 등 해양공간의 인위적 행위에 의한 지역경제 및 환경·생태계에 대한 영향을 대상으로 시뮬레이션 분석을 수행하였다.[18] 본 연구는 해양공간계획의 정책 수단인 용도구역 지정 및 정책수용도, 해상풍력단지 입지, 기후변화와 같은 대내·외 정책환경의 변화를 대상으로 시뮬레이션 기술을 적용하였다.

국내·외 유사 연구의 적용 범위는 문헌조사를 통해서 ABM과 같은 시뮬레이션 기술의 정책적 활용성을 검토하거나,[19] 시뮬레이션을 포함한 다양한 정책지원 기술을 비교 검토하는 경우로 구분할 수 있다.[20] 본 연구는 문헌조사와 전문가 자문, 설문조사를 통해 기술 동향 및 요구사항을 분석하여 시뮬레이션의 설계·개발·활용 방안을 수립하고, 프로토타입 모형을 개발하여 사례분석을 수행하여 시뮬레이션의 적용 가능성을 검토하였다.

14) 김동한 외(2014)
15) 이수욱 외(2011)
16) Burgess et al.(2020); Miller et al.(2010)
17) 김혜진(2019); 김홍태 외(2020); 손재선(2021)
18) Alaliyat, Yndestad, & Davidsen(2019); Pizzitutti, Mena, & Walsh(2014); Petersen & Topping(2013)
19) 오세웅 외(2019); 조성진 외(2021)
20) Depellegrin et al.(2021); Janben, Goke, & Luttmann(2019)

분석 방법으로 UrbanSim, ARENA 등 소프트웨어를 이용한 연구,[21] AutoCAD, MS Access 등 OA(office automation)를 이용해 모형을 개발한 연구,[22] 활동 기반 모형, 시스템 다이내믹스 등 개발지원 소프트웨어(VenSim, AnyLogic, NetLogo 등)를 이용해 모형을 설계·개발한 연구가 있다.[23] 본 연구는 ABM, 시스템 다이내믹스 등 시뮬레이션의 개발을 지원하는 AnyLogic 소프트웨어를 이용하였다.

〈표 1-2〉 본 연구의 차별점

구분	주요 선행연구		본 연구
	요약	문헌	
목표	• 국토·도시 공간구조의 변화 시뮬레이션 • 부동산시장의 미시적 동태분석과 정책 효과 분석 • 농촌관광사업의 주민참여 의사결정 요인 분석 • 시뮬레이션 기술을 통한 연안도시 및 도시재생 촉진 • 수산업의 현상 및 정책에 대한 분석 도구 활용성	• 김동한 외(2014) • 박천규 외(2013) • 이수욱 외(2011) • Burgess et al.(2020) • Miller et al.(2010) 등	• 해양공간계획의 효과 및 영향을 진단하기 위해 해양공간 및 활동의 변화 과정을 모의할 수 있는 시뮬레이션의 적절성과 적용 가능성 검토 • 정책 시뮬레이션 개발·활용을 위한 장기 로드맵, 활용체계 구축
대상	• 해상교통 위험도 • 감염병 확산 • 행정학·정책학 연구 • 긴급 재난 상황에 대한 대피 행동 • 갈라파고스섬 관광산업이 지역경제 및 생태계에 미치는 영향 • 인간 활동이 해양생태계에 미치는 영향 • 해상풍력이 생태계 및 항행에 미치는 영향	• 김혜진(2019) • 김홍태 외(2020) • 손재선(2021) • 김유심·이민창(2007) • Alaliyat, Yndestad, & Davidsen(2019) • Pizzitutti, Mena, & Walsh(2014) • Petersen & Topping(2013) 등	• 해양공간계획 이행에 따른 해양공간 및 활동의 변화 과정 분석 • 공공정책의 효과·영향을 예측하고 진단하기 위한 연구

21) 박준모(2020)
22) 채여라 외(2016); 최병남 외(2005)
23) 이백진 외(2013); McDonald et al.(2008)

구분	주요 선행연구		본 연구
	요약	문헌	
범위	• 활용 사례를 통한 ABM의 적용 가능성 검토 • 에이전트 모델의 인터페이스 표준 정의 및 파라미터 조작 환경 • 문헌조사를 통한 동향 분석 • MSP 지원 도구 사례의 비교 검토	• 오세웅 외(2019) • 조성진 외(2021) • 채여라·정예민(2017) • Depellegrin et al.(2021) • Janben, Goke, & Luttmann(2019) • Lindkvist et al. (2020) • Pinarbasi et al.(2017) 등	• 문헌조사, 전문가 자문을 통한 동향 분석 및 전략 수립 • 설문조사를 통한 기술 수요 분석 • 실제 사례 적용을 통한 시뮬레이션의 활용 가능성 검토 • 시뮬레이션의 적절성 및 구축 방안 제안
방법	• UrbanSim 소프트웨어 활용하여 시뮬레이션 모형 개발 • ARENA 소프트웨어를 활용한 모델링 • 활동 기반 교통 모형을 이용한 교통정책 시뮬레이션 개발 • AutoCAD & Visual Basic, MS Access을 이용한 시뮬레이터 개발 • 시스템다이내믹스를 이용한 모델링	• 박준모(2020) • 이백진 외(2013) • 채여라 외(2016) • 최병남 외(2005) • McDonald et al.(2008) • Goke et al.(2018) • Bailey et al.(2019) 등	• AnyLogic 모델링 도구를 활용한 모형 개발 • ABM을 이용한 시뮬레이션 모델링 구현

자료: 저자 작성

본 연구는 해양 분야의 구체적인 정책 수단인 해양공간계획의 지원을 위한 ABM을 직접 개발하고, 사례지역을 대상으로 다양한 시나리오 분석을 통해 시뮬레이션의 활용 가능성에 대한 검증을 시도했다는 점에서 선행연구와 차별점을 가지고 있다. 또한, 문헌조사, 전문가 자문, 설문조사 등 다양한 연구 방법을 통해서 모형의 설계, 개발, 활용을 위한 구체적인 방안을 수립하고, 이를 기초로 프로토타입 모형의 개발뿐만 아니라 장기적인 로드맵과 정책 시뮬레이션의 활용체계를 제안하였다.

제4절 연구의 기대효과

가. 학술적 기대효과

본 연구는 다양한 분야에서 학술적 성과를 가져올 것으로 기대한다. 첫째, 시뮬레이션 개발을 통해 다양한 정책지원시스템 개발에 활용하여 관련 분야의 학술적 성장에 이바지할 것이다. 현재까지는 국토, 도시 등 일부 분야에서만 시뮬레이션을 탑재한 시스템을 개발, 활용하고 있다. 본 연구의 성과는 다양한 분야에서 시뮬레이션 기반의 정책지원시스템을 개발하는 데 초석이 될 것이다.

둘째, 관련 산·학·연 전문가에게 연구 성과를 공유하여 시뮬레이션 성과의 추세, 활용 현황 등을 통해 정량적인 결과 데이터를 종합하여 우수과제를 발굴할 수 있다. 본 연구의 시뮬레이션 적용사례는 공공 분야뿐만 아니라 민간 부문의 다양한 용도로 시뮬레이션 기술을 활용할 수 있는 새로운 연구과제를 도출하는 데 기여할 것이다.

셋째, 데이터를 활용한 해양 활동의 예측 기술은 장기적으로 해양공간의 효율적 관리, 해양 생태 문제, 기후변화 문제 등의 다양한 학술 분야로 확장할 수 있다. 해양정책 및 환경변화로 인한 미래 이용을 예측하는 본 연구의 시뮬레이션 기술은 해양 분야의 다양한 현안 및 문제점에 대한 예측연구에 활용될 것으로 전망한다.

넷째, 해양공간정책에서 미래 예측과 전망을 위한 시뮬레이션 방법을 적용한 첫 사례로 향후 해양정책 분야의 학술 연구범위를 확장하였다. 기존 해양정책 분야는 정성적 연구에 큰 비중을 두고 있으며, 일부 통계적 기법이나 수학적 모형에 기반한 연구에 한정된다. 따라서 ABM을 적용한 본 연구는 기존 해양정책 분야의 정성적 연구를 보완하고, 새로운 정량적 접근

방법을 소개하여 앞으로 해양정책 분야에서 새로운 연구 주제가 도출되는데 기여할 것이다.

나. 정책적 기대효과

본 연구를 통해 정책 분야에서도 다양한 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 해양공간 수요 확대와 다변화되는 변화 속에 능동적 대응체계를 마련하여 신속·정확한 정책적 의사결정 지원 정보를 제공할 것이다. 시뮬레이션 기술을 활용한 예측연구는 미래 해양 이용 현황을 사전에 전망하여 대응 수단을 마련하는데 필요한 정보를 제공할 것으로 기대한다.

둘째, 본 연구는 해양공간계획 수립 및 이행과정에서 발생할 수 있는 다양한 갈등 요소를 사전 탐색하고, 관리하는 데 활용될 수 있다. 시뮬레이션 기술을 활용해 해양 활동 간 상충 가능성을 분석하여 지역주민, 종사자, 이해관계자 간 갈등 요소를 사전에 발견하고, 다양한 의견을 수렴하여 과학적 해양공간 통합관리를 실현하는 데 기여할 것이다.

셋째, 미래 정책환경의 예측 및 미래 수요를 고려한 용도구역 및 유도구역 지정을 가능하게 한다. 현재 해양수산부에서 구상하고 있는 유도구역의 지정하고 관리하는데 필수적인 미래 예측과 효과를 평가할 수 있는 수단으로 미래 수요에 기반한 해양공간정책을 효율적으로 추진하는 데 일조할 것으로 기대한다. 마지막으로, 해양공간 이용·개발 계획 및 공유수면 점사용 인허가 등에 과학적 평가 수단을 제공하여 적합성 혹은 적절성 평가에 활용할 수 있다.

02
해양공간계획 시뮬레이션 개발 필요성

제1절 해양공간계획의 이행 현황과 주요 현안

해양공간계획은 통합된 해양 공간정보와 과학적 특성 평가를 근거로 해양공간의 용도와 이용 형태를 결정함으로써 해양공간의 균형적 이용·개발 및 보전을 도모하고, 해양 이용자 간 갈등을 예방하기 위한 제도이다. 해양을 이용하는 주요 이해관계자 사이의 협의를 통해 해양공간에 대한 합리적 용도를 결정하기 위해서는 해양공간에 대한 공통의 이해를 도출하기 위한 수단이 필요하다. 이에 해양공간계획 제도는 과학적, 객관적 평가 수단을 통해 해양용도구역에 대한 합리적, 수용적 의사결정을 지원하기 위한 정책 수단을 구체화하고 있다.

이 절에서는 정보를 활용한 정책 시뮬레이션 도입 및 활용 가능성을 진단하기 위해 해양공간계획 제도의 주요 내용과 특성, 해양공간계획 추진 경과 등 주요 현황의 구체적인 내용을 살펴본다.

1. 해양공간계획 개요

1) 해양공간계획 동향

「해양공간계획법」이 제정(`18.4.17.)되고 이듬해 법률이 시행됨에 따라, 우리 정부는 해양공간에 대한 선계획 후개발 관리체제를 정립하고 해양공간의 지속가능한 이용을 위하여 해양공간계획을 수립·이행 중이다.

「해양공간계획법」 시행 이후, 해양공간관리의 장기적·통합적 정책 방향을 제시하는 해양공간기본계획이 수립·고시(`19.7.)되었다.[24] 제1차 해양공간기본계획(2019-2028)은 「해양공간계획법」 시행 이후 최초로 입안·결정된 계획으로, 해양공간관리의 국가계획체제로의 전략적 전환을 위한 추진전략과 추진과제를 포함하고 있다. 한편, 해양공간기본계획은 해양공간계획 체제의 조기 구축을 위하여 '우선순위에 따른 해양공간관리계획 수립 및 행정 협치 기반 강화'를 중점 추진과제로 포함하고 있으며, 지역의 현안 및 계획 수립 여건을 고려하여 `19년부터 `21년까지 우리나라 전 해역 해양공간관리계획 수립 방향 및 추진계획을 제시하고 있다.

해양공간관리계획은 해양의 이용·개발 및 보전 등 해양공간의 특성 및 미래 수요를 고려하여 해양공간을 구획하고, 해당 공간에 일정 용도를 부여하여 관리하는 제도로, 해양공간의 특성에 따른 기능을 제시하는 해양용도구역 지정에 관한 사항과 해양용도구역별 관리 방안을 주요 내용으로 한다. 우리 정부는 해양공간기본계획을 통해 구체화된 해양공간관리계획 추진계획에 따라 11개 광역 지방자치단체의 해양공간관리계획을 입안·고시하였다.

우리나라 최초의 해양공간관리계획은 '부산 및 부산 인근 배타적 경제수역 해양공간관리계획'으로서 `20년 2월 3일 고시되었다. 다음 해 `21년에는 인천광역시와 경기도, 제주특별자치도, 경상남도의 해양공간관리계획이

24) 해양수산부(2019)

고시되었으며, `22년에는 충청남도, 강원도, 울산광역시, 전라남도, 전라북도, 경상북도의 해양공간관리계획이 고시되어 총 11개 연안 시도의 해양공간관리계획 수립이 완료되었다.

〈그림 2-1〉 시도 해양공간관리계획 수립 현황



자료: 해양수산부 해양공간통합관리정보시스템(검색일: 2022.8.22.)

해양공간관리계획은 과학적·객관적 증거에 기반한 주요 이해관계자 간 의견 합치를 통해 해양용도구역을 정하는 과정을 통해 입안·결정되므로 의사결정을 위한 객관적 자료 수집·분석이 중요하다. 이에 「해양공간계획법」은 정부에게 해양공간정보체계의 구축·운영의 재량을 부여하고 있으며,[25] 제1차 해양공간기본계획에서도 '해양공간정보체계 구축 및 고도화'를 5대 추진전략의 하나로 제시하고 있다. 해양공간정보의 수집·활용, 해양용도구역 지정을 위한 분석체계 및 가공정보 제공을 위하여 해양수산부는 현재 해양수산 빅데이터플랫폼[26], 해양공간통합관리정보시스템[27]을 운영 중이다.

25) 해양공간계획법 제19조

2) 해양공간계획의 목적

해양공간계획은 영해와 배타적 경제수역·대륙붕까지 우리나라 전 해역을 포괄하는 행정계획으로서 해양공간관리의 통합적·장기적 정책 방향을 정하는 해양공간기본계획과 용도별로 해양공간을 구획하여 해양 이용자의 활동을 조율하는 합리적 수단으로서 기능하는 해양공간관리계획으로 구성된다. 해양공간기본계획은 권역별·지역별 현황과 현안, 여건을 고려하여 해양공간자원의 합리적·계획적 이용 방향을 정하며, 해양공간관리계획에서는 해양공간기본계획에서 제시하는 정책 방향에 따라 해양공간자원을 합리적으로 배분·관리하기 위한 구체적인 사항을 결정한다.

이처럼 해양공간계획은 해양공간자원의 합리적이고 지속가능한 이용을 위하여 해양공간의 특성, 이용 현황 및 수요를 고려하여 해양공간자원을 사전에 배분함으로써 해양공간의 이용·개발 및 보전에 관한 체계적 정책 의사결정을 제도화하는 것을 목적으로 하며, 합리적 해양공간 배분·관리를 위하여 과학 정보·데이터, 참여 거버넌스에 기반한 정책 의사결정의 주요 수단으로 채택하고 있다.

2. 해양공간계획 정책 수단

가. 해양공간기본계획

해양공간기본계획은 해양공간의 통합관리 체제를 구현하는 해양공간정책의 최상위 행정계획으로, 1) 해양공간에 관한 기본 정책 방향, 2) 해양공간관리계획의 수립 방향, 3) 해양공간정보의 수집·관리·활용에 관한 사항,

26) 해양수산 빅데이터플랫폼(검색일: 2022.9.6.)
27) 해양공간통합관리정보시스템(검색일: 2022.9.6.)

4) 해양공간특성평가에 관한 사항, 5) 해양공간 관리에 필요한 연구개발 및 국제협력에 관한 사항 등을 주요 내용으로 한다.[28)]

제1차 해양공간기본계획은 「해양공간계획법」 시행 이후 최초로 입안된 해양공간계획으로, 해양공간계획체제 성공적 안착을 위한 기본 구상을 구체화하고 있다. 해양공간기본계획은 해양공간의 현황 및 여건, 국제 동향, 장래 전망 등에 기반한 정책 방향을 기초로 5대 추진전략 및 14개 추진과제를 제시하고 있다. 제1차 해양공간기본계획의 추진전략은 1) 능동적 적응형 해양공간계획체제 구현, 2) 과학적·통합적 해양공간관리 기반 구축, 3) 해양공간정보체계 구축 및 고도화, 4) 참여·협력의 해양공간관리 거버넌스 구축, 5) 해양공간관리 이행지원 인프라 강화 등 다섯 가지로 구성되어 있다.[29)]

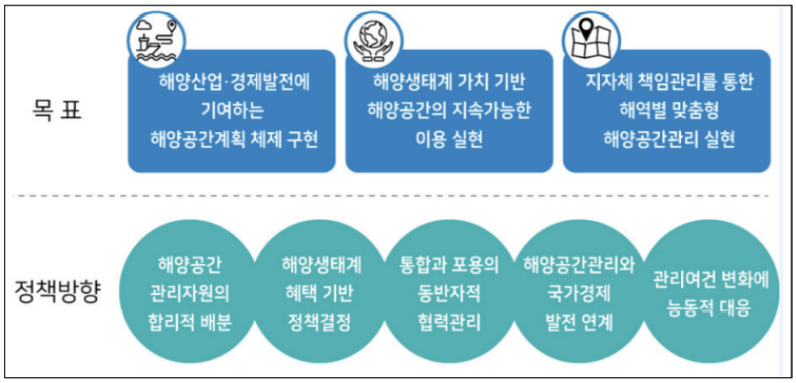
해양공간기본계획을 통해 구체화된 해양공간계획체제를 살펴보면, 해양공간정보를 활용한 객관적·과학적 평가가 해양공간관리의 핵심이다. 해양공간계획체제의 체계적·효율적 운영을 위해서는 해양공간정보 활용방식의 다변화 및 정보의 분석·평가 방법의 고도화가 필수적이며, 정보의 활용·분석 방식을 어떻게 설정하느냐는 향후 우리나라 해양공간 관리정책이 나아가야 할 방향과 밀접하게 관련된다.

한편, 해양공간기본계획은 미래여건 변화에 따른 능동적 관리체계 구축을 중점 추진과제(1-3)로 제시하고 있다. 능동적 관리체계란, 해양공간계획의 이행평가 결과를 반영한 해양공간계획의 수립과 장래 여건 변화를 반영한 정책 개선이 가능한 계획체제를 말한다.[30)] 해양공간의 능동적 관리체계 구축을 위한 세부 과제는 해양공간 지속가능성 및 계획이행 평가 체계 구축(1-3-1), 장래 여건 변화의 해양공간정책 반영 체계 구축(1-3-2)으로서 해양공간계획의 도입에 따른 해양의 지속가능성 변화, 해양공간관리계

28) 해양공간계획법 제5조 제1항
29) 해양수산부(2019), p. 63.
30) 해양수산부(2019), pp. 80-81.

획의 정책 효과, 메가 트렌드의 해역별 영향 관계 등을 평가하는 기술·제도의 개발을 주요 내용으로 삼고 있다.

〈그림 2-2〉 해양공간기본계획의 주요 내용



5대 추진 전략		중점 추진과제
1	능동적 적응형 해양공간계획체제 구현	① 해양공간계획체제 조기 구축 및 실효적 이행 ② EEZ 해양공간 및 자원관리 지배력 확대 ③ 미래여건 변화에 따른 능동적 관리체계 구축
2	과학적·통합적 해양공간관리 기반 구축	① 해양공간특성평가체계 고도화 및 활용성 강화 ② 해양공간 관리수단간 연계성 강화 ③ 해양생태계 기반 해양공간관리 기술 개발
3	해양공간정보체계 구축 및 고도화	① 해양수산정보 통합관리 기반 구축 ② 해양공간정보 관리체계 확립 ③ 해양공간정보 활용 및 개방 확대
4	참여·협력의 해양공간관리 거버넌스 구축	① 참여·협력 거버넌스 공고화 ② 해양공간관리 글로벌 파트너십 강화
5	해양공간관리 이행지원 인프라 강화	① 해양공간관리 이행체계 강화 ② 해양공간관리 전문성 강화 및 인식증진

자료: 해양수산부(2019), p. 63.

기본계획에서 제시하고 있는 정책은 과학적 평가 수단을 중심으로 이루어지는 해양공간관리계획 제도의 구현 및 개선을 주요 목적으로 하고 있다. 해양공간관리계획의 내용에는 1) 계획 수립 대상 해역, 2) 관할해역 관리에 대한 정책 방향, 3) 해양공간의 특성 및 현황, 4) 해양공간의 보전 및 이용·개발 수요에 관한 사항, 5) 관할해역의 공간구조와 기능 배분에 관한 사항, 6) 해양용도구역의 지정·관리에 관한 사항 등이 포함된다.[31]

나. 해양공간관리계획

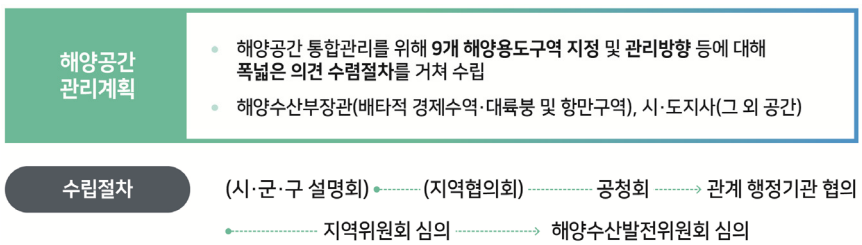
해양공간관리계획은 해양수산부장관이 수립하는 항만구역 및 배타적 경제수역·대륙붕에 관한 관리계획과 그 밖의 해역에 대하여 시·도지사가 수립하는 관리계획으로 구분할 수 있다.[32] 해양수산부장관이 관리계획을 수립할 때는 시·도지사의 의견수렴, 관계 행정기관의 장과 협의, 해양수산발전위원회[33]의 심의를 거쳐 계획을 결정한다. 한편, 시·도지사가 관리계획을 수립하는 경우 공청회를 열어 해당 공공의 의견수렴을 거쳐야 하며, 이후 관계 행정기관의 장과 협의, 해양공간관리지역위원회[34] 및 해양수산발전위원회의 심의를 거쳐 해양수산부장관의 승인을 받아야 하며, 지역주민, 시민단체, 이해관계자 및 전문가 등으로 구성된 해양공간관리지역협의회를 구성·운영하여 계획 수립과정을 지원하도록 할 수 있다.[35]

해양공간관리계획 수립과정에 참여하는 이해관계자는 해양용도구역 초안 작성에 활용된 해양수산정보의 적절성, 해양수산정보의 분석 내용과 분

31) 해양공간계획법 제7조 제3항
32) 해양공간계획법 제7조 제1항
33) 「해양수산발전 기본법」 제7조에 따른 위원회를 말한다.
34) 「해양공간계획법」 제9조에 따라 구성·운영되는 위원회를 말하며, ①관리계획의 수립·변경과 그 밖에 해양공간 관리에 관한 중요 사항, ②관리계획과 관련하여 시·도지사가 자문하는 사항, ③그 밖에 해당 시도의 해양공간 관리에 필요한 사항으로서 해당 시도의 조례로 지역위원회 심의를 거치도록 한 사항에 관하여 심의한다.
35) 「해양공간계획법」 시행령 제6조에 따라 구성·운영할 수 있는 협의회를 말하며, 지역협의회는 관리계획의 수립·변경 과정에서 의견을 제시할 수 있다.

석 결과로 도출된 해양용도구역 초안의 타당성을 포괄적으로 검토한다. 이 과정에서 해양공간의 이용 현황 및 미래 수요 등 현장의 정보를 제시하여 정보의 공백을 보완·개선하고, 장기적인 해양공간 활용 방향에 관한 의사의 합치를 통해 해양공간관리 의사결정의 투명성 확보에 이바지한다.

〈그림 2-3〉 해양공간관리계획의 개요 및 수립 절차



주: 괄호로 표시된 절차는 계획수립권자의 재량 사항에 해당
자료: 저자 작성

이처럼 해양공간관리계획은 해양 이용자부터 지방·중앙 정부와 지역민에 이르는 광범위한 이해관계자들의 참여로 구체화·검증된다. 따라서 해양공간관리계획의 수용성 확보를 위해서는 다양한 참여자들이 계획의 내용을 충분히 이해하고, 계획의 긍정적 효과에 관한 의사의 합치가 이루어져야 한다. 계획 결정 과정에서는 해양공간의 이용·보전 가치에 대한 객관적 증거가 계획 참여자의 합의를 유도하는 주요 수단의 하나이며, 해양공간관리계획의 정책 효과에 관한 예측 가능성은 다양한 이해관계자들의 공감대 형성에 기여할 수 있다.

다. 해양용도구역 및 해양공간적합성협의

해양공간관리계획은 다양한 이해관계자들의 수용성 확보와 해양공간의 합리적이고 지속가능한 이용을 위해서 해양공간의 현황 및 여건을 진단하

기 위한 과학적 평가 수단을 도입하고 있다. 객관적·정량적 평가 기준[36]을 적용하여 해양공간의 용도를 결정(해양용도구역의 구획·지정)하여, 해양생태계의 가치 저하, 이용·보전 및 이용자 간 갈등의 심화 현상을 사전에 조정하는 것이다.[37]

해양용도구역이란, 해양공간의 이용·개발 및 보전 활동을 합리적으로 배분·관리하기 위하여 지정하는 구역으로,[38] 해양에서 이루어지는 이용·개발 및 보전 활동을 대표하는 어업활동보호구역, 골재·광물자원개발구역, 에너지개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계관리구역, 연구·교육보전구역, 항만·항행구역, 군사활동구역, 안전관리구역을 의미한다.[39] 해양용도구역을 지정하기 위해서는 해양공간의 자연적 특성, 입지 및 활용 가능성 등에 대한 해양공간특성평가를 실시하여야 하며,[40] 해양공간특성평가를 통해 1) 해양자원의 부존(賦存) 현황 및 가치, 2) 해양환경 및 생태계의 특성, 3) 해양공간의 이용 및 개발 현황, 4) 해양공간의 미래 활용 수요 등에 대한 포괄적 평가를 거쳐야 한다.[41]

해양공간특성평가는 해양자원 및 이용에 관한 해양공간정보를 지리정보체계(GIS) 소프트웨어를 활용하여 해양공간데이터와 평가단위인 격자망도를 중첩 분석(overlay analysis)하여 해양공간특성을 등급화하고 해양공간

36) 해양용도구역의 지정을 위해서는 「해양공간계획법」 제13조에 따른 해양공간특성평가를 실시하여야 한다.
37) 「해양공간계획법」 의 제정 이유를 참고하였다.
38) 해양공간계획법 제2조 제5항
39) 해양용도구역은 총 9개 유형으로, 1. 어업활동보호구역: 면허어업, 허가어업 등 어업활동을 보호·육성하고 수산물의 지속가능한 생산을 위하여 필요한 구역, 2. 골재 · 광물자원개발구역: 바다에서 골재 및 광물자원의 효율적·안정적 공급을 위하여 필요한 구역, 3. 에너지개발구역: 해양에너지 개발과 생산을 위하여 필요한 구역, 4. 해양관광구역: 해양관광 기능의 유지 및 개발이 필요한 구역, 5. 환경·생태계관리구역: 해양환경, 생태계 및 경관의 보전 및 관리가 필요한 구역, 6. 연구·교육보전구역: 해양수산 연구와 교육활동을 위하여 필요한 구역, 7. 항만·항행구역: 항만기능의 유지와 선박의 안전운항 등을 위하여 필요한 구역, 8. 군사활동구역: 국방 및 군사 활동을 보호하기 위하여 필요한 구역, 9. 안전관리구역: 해양에 설치한 시설물의 보호 및 해양안전을 위하여 필요한 구역을 말한다. (해양공간계획법 제12조 제1항)
40) 해양공간계획법 제13조 제1항
41) 해양공간계획법 시행규칙 제6조

을 식별하는 절차로서[42] 해양에 대한 공간구조를 파악하고 공간별 기능을 배분하는 기초자료를 제공하는 수단으로서 기능한다. 해양공간특성평가는 해양용도구역별로 지정 기준에 따른 자료 수집, 가용성 및 신뢰도 검토, 분석활용 자료 선정, 자료 가공 과정을 거쳐 진행된다. 이때 활용하는 자료는 해양용도구역별 1) 특성 및 이용 현황을 나타내는 자료와 2) 관련 법정구역에 관한 자료로 구성된다.[43] 특성 및 이용 현황의 경우, 수산자원, 골재·광물자원, 에너지자원, 관광자원 등의 분포와 실제 관련 활동이 이루어지는 공간을 나타낼 수 있는 자료로 구성되며, 법정구역의 경우, 어항구역, 수산자원보호구역, 골재채취예정지, 해수욕장, 해양보호구역 등 분야별 개별법에 따라 관리되고 있는 지구·구역에 관한 해양공간정보를 말한다.

해양용도구역 지정 기준을 살펴보면, 실제 해양 이용이 활발하게 이루어지고 있는 공간, 현재 개별법에 따른 관리가 이루어지고 있는 공간이 대다수를 차지한다. 해양용도구역 지정 기준 중 해양수산 자원이 풍부하게 분포하는 공간은 장래 수요가 발생할 가능성이 큰 공간에 해당하나, 포괄적 자료로서 해양공간 이용에 필요한 입지 및 활용 가능성을 구체적으로 파악하는 데는 한계가 존재한다. 다시 말해, 현행 해양용도구역 제도는 해양공간의 현재 이용 활동 및 관리 현황을 기준으로 구획·지정되며, 우리의 해양에서 현재 이루어져 있는 9개 유형의 활동을 구역으로 표현함으로써 해양공간관리정책의 기준으로 기능한다.

9개 유형의 활동 밀집도 및 우선순위에 따라 지정된 해양용도구역은 향후 해양 이용·개발 수요가 발생할 시 해당 수요를 평가하는 기준이 된다. 어장 또는 어항·항만, 광물·골재·석유, 해양관광단지, 해양수자원, 에너지, 또는 그 밖의 해양자원을 이용·개발하거나 관련 지구·구역을 지정·변경하고자 할 때는 해양공간적합성협의를 통해 해양수산부장관과 협의하여야 한

42) 해양공간특성평가 지침(2019.6.12., 해양수산부 고시 제2019-76호)
43) 해양공간관리계획의 수립 및 관리 등에 관한 규정 제17조부터 제25조까지 참고

다.[44] 해양공간적합성협의를 통해 해양수산부장관은 해양을 이용·개발하려는 자가 해양공간의 종합적 특성, 이용·개발 계획이 해양공간계획(해양용도구역 및 구역별 관리 방향)에 부합하는지, 이용·개발 계획에 따른 다른 활동에의 영향 등을 포괄적으로 검토하였는지를 평가한다.[45]

이처럼 해양용도구역은 해양공간특성평가를 통한 정량적 평가를 거쳐 현재 해양공간의 이용 및 관리 현황과 특성을 기준으로 지정되며, 이후 해양이용·개발·보전 수요의 적정성과 타당성을 검토하는 기준으로 작용한다. 해양공간적합성협의를 통한 해양 이용·개발·보전 수요의 평가는 새로운 수요와 해양공간계획과의 부합성을 중점적으로 검토함으로써 해양용도구역을 구성하는 9개 유형의 활동 유지·증진을 위한 제도로서 역할을 한다.

3. 해양공간계획 추진 현황

정부는 11개 연안 광역지자체의 해양공간관리계획을 마련하여, 해양공간정책은 '정책 입안 · 계획 수립'에서 '계획의 효율적 이행' 단계로 진입하였다. 해양공간계획 이행은 관리계획에서 정한 내용을 사람의 행동으로 전환하기 위한 적절한 거버넌스 설정과 지정한 해양용도구역 자체를 관리하는 것을 포함한다.[46] 우리나라 해양공간정책의 이행은 해양공간계획법에서 정한 사항, 해양공간기본계획 추진, 해양공간관리계획 이행, 해양용도구역 지정·변경, 해양공간적합성협의 및 검토 등의 해양공간 통합관리정책에서 해양공간을 관리하기 위한 다양한 수단을 시행하는 것이다. 특히 담당자는 해양공간을 대상으로 사전에 정한 해양용도구역에서 이루어지는 기존의 핵심활동을 유지하고 지원할 수 있는 조치를 해야 한다.

44) 해양공간계획법 제15조
45) 해양공간적합성협의에 관한 업무처리규정 참고
46) 최희정 외(2021), p. 3.

우리나라 해양공간관리계획의 운영방식은 정부와 지자체가 ① 해양공간관리계획에서 정한 해양용도구역과 그에 관한 관리 사항을 통해 규율하는 것뿐만 아니라 ② 관리계획의 추진 내용에 관한 이행 사항을 점검하는 것이다. 정부와 지자체는 지정된 해양용도구역을 기준 삼아 해양 활동 시 관련 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하는 등 다양한 협의와 조정 과정을 거쳐야 한다. 또한, 지자체 간 해상경계가 부재한 우리 바다 여건상, 인접 지자체의 관할해역에 영향을 미치는 이용 혹은 개발이 이루어질 때 상호작용을 진단하고 그 영향의 정도를 확인하여 더 적절한 해양 이용을 정하기 위한 협의가 필요하다. 협의 시에는 해양공간에서 일어나는 다양한 활동의 용도와 규모에 따른 기존 활동 간 상호작용, 활동의 영향 등에 관한 한층 더 분석적인 정보와 근거가 있어야 한다.

지난 5년간 해양공간 통합관리정책을 추진하면서 지역 담당자와 분야별 전문가들은 해양용도구역 지정 혹은 변경에 있어서 미래 수요의 고려, 해양용도구역에서 새로운 활동 시 기존 활동과 공존 및 양립 혹은 대립 수준, 해양 활동의 사회·경제적 혜택 정도, 해양공간관리계획 수립에 따른 해양공간의 지속가능성, 해양공간계획의 효과(성과) 진단, 해양 활동의 환경적 영향 등에 관한 자료가 필요함을 언급하였다. 하지만 정책 여건상 현재 가용한 정보를 토대로 해양용도구역을 정해야 해서 이러한 요구사항을 모두 검토하는 데 한계가 있었다.[47]

이행은 해양공간계획을 실제 운영으로 전환하는 과정이다. 해양공간계획 이행 시 해양을 둘러싼 여건 변화에 따라 기존 해양용도구역의 유지와 관련하여 다양한 조정 현안들이 발생할 것이다. 특히, 해양 안전의 변화 또는 경제·사회 발전 전망의 변화가 예상되는 경우 타 법률에 따른 계획 및 사업이 같은 영역 혹은 주변 지역에 이루어지고, 그에 따른 구조적 또는 기능 상호 의존

47) BOX 1, BOX 2 내용 참고

때문에 관련 계획 간 통합·연계·조정을 필요로 한다. 그러나 육상 공간계획 이행의 경험에서도 알 수 있듯이 이러한 상황에서 행정적 조치나 하향식 지시보다 과학적인 판단이 뒷받침된 정보 분석 기술과 자료가 필요하다.

해양공간계획의 이행은 관련 지자체와 관리기관의 역할이 중요하다. 그 역할은 계획 내용 준수, 이행 촉진 지원, 이행 성과 점검 등이다. 임무를 수행하는 과정에서 성과와 한계를 지속해서 모니터링하고, 주변 여건이나 이해관계를 반영하여 더 개선된 대안을 찾는 노력이 필요하다. 이러한 업무를 과학적으로 투명하게, 일관되게 수행하기 위해서는 다양한 분석 도구의 활용이 절실하다. 국제사회에서 현재 해양공간계획을 이행하고 있는 국가는 계획 수립 이후 이행을 위한 참여, 평가 방법 개발 및 활용을 위한 연구에 집중하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 여전히 지자체의 해양공간계획 업무 역량 즉 조정·중재 기능, 해양공간정보 및 분석 수단, 해양공간관리 역량 등이 부재하여 실질적 이행을 어렵게 하는 것으로 보인다. 특히, 해양공간 통합관리정책에 따라 최희정 외(2021)에서는 해양공간 관련 지자체 담당자 혹은 이용자의 인터뷰 결과에서 해양공간의 특성을 파악하고 분석하고, 영향과 상호작용을 확인할 수 있는 기술이 부족하다는 점을 제시하고 있다. 이러한 문제점은 계획 수립 이후 계획에서 정한 사항을 실제 이행할 때 한계로 작용할 것으로 예상된다.

만약 다양한 대안의 결과를 쉽게 확인하고 점검할 수 있다면 정책에 관한 일반대중의 지지를 얻기도 쉬울 것이다. 관리계획 수립의 다음 단계는 정책의 실효성과 계획의 집행력을 개선하기 위한 관심을 가지는 것이다. 공공영역과 더불어 정책 이해관계자가 모여 해양의 적합한 이용방식과 이해 상충 시 해결 과정에서 정부와 지자체는 의사결정을 지원하기 위한 평가, 영향, 갈등 분석 수단의 개발과 활용이 필요한 시기이다.

4. 해양공간계획 이행 현안

다음은 해양공간계획 이행을 위한 과학적 현안 및 관리 수단의 한계, 그리고 이를 해결하기 위한 기술의 하나로 시뮬레이션의 역할에 대해 살펴보고자 한다.

가. 육상과 다른 해양공간 조건 및 해양 활동 특성 미고려

해양공간을 이해하려면 육상공간과 구별되는 특징을 알아야 한다. 그런데 해양공간은 여러 특성을 가지고 있어 육지와 다르게 이용되고 있고, 복잡한 해양 이용을 이해하는데 필요한 지식과 정보는 부족한 실정이다. 또한 해양공간의 3차원 구조로 인해 해양 활동 시 다층적 인허가 과정이 요구된다. 이것은 공간 이용의 물리적 경계가 비교적 뚜렷한 육상과 달리, 특정 해양공간 이용 시 단일 기관에서 인허가받는 것이 아니라 다양한 기관과 관련될 수 있다는 것을 의미한다.

〈그림 2-4〉 해양공간의 특징

① 3차원 특성으로 육상공간과 달리 다양한 유형의 활동이 중복
(예, 해양스포츠와 수중케이블)

② 확산과정의 역학적 특성
(예, 육지보다 오염물질의 확산이 빠르고, 해양생물의 오염물질 흡수가 더 쉬움)

③ 해양 활동의 월경성
(예, 인접 국가 간 오염, 소음, 진동, 유기체 유입 등 부정적인 영향의 억제 불가)

④ 육상보다 교통 혹은 운송 회랑을 형성하는 데 있어서 유연성이 더 큼.

⑤ 육상보다 수문학적 혹은 지형학적 과정에 영향을 크게 받은(수심 등)

⑥ 해양공간의 공공재 성격

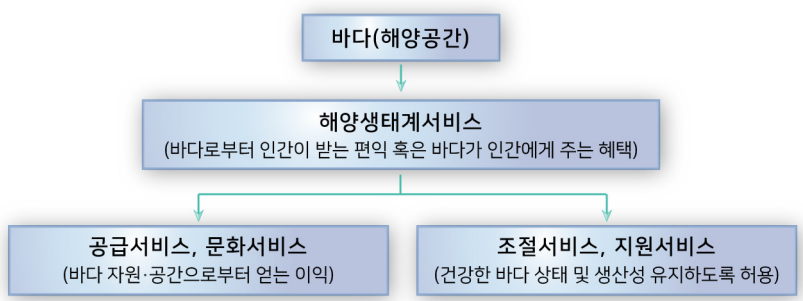
⑦ 해양공간에 인간이 거주하지 않음.
* 개발로 경제적 이익이 발생하는 장소와 실제 이익을 활용하는 장소의 분리됨을 의미

⑧ 해양조사 및 데이터 취득 시 고비용 발생 및 최신 데이터의 부족

자료: Zaucha(2018), p. 20.

육지와 다른 복잡한 해양 구조와 3차원적 해양 이용의 특성 외에도, 해양이 제공하는 생태계서비스에 대한 폭넓은 이해가 선행되어야 한다. 육상자원의 고갈로 점차 해양자원의 소비가 늘고 있으며, 다양한 사업에 활용하고 있다. 이중 해양자원의 활용을 통해 상품과 서비스를 얻는 것을 해양생태계 서비스라고 한다. 2005년 새천년 생태계 평가(MEA: Millennium Ecosystem Assessment) 보고서에서는 해양생태계 서비스를 공급, 문화, 조절, 지원 서비스로 구분하였다.[48] 공급과 문화서비스는 바다의 자원으로부터 얻는 이익을 의미하고, 조절과 지원 서비스는 해양생태계를 건강한 상태로 유지하도록 하는 것이다. 생태계서비스의 품질은 해양생태계의 건강한 상태에 달려있으므로 조절과 지원 서비스도 중요하다. 해양생태계 서비스 평가 결과는 인간 활동에 따른 해양생태계 서비스의 영향과 해양공간의 보전, 이용, 개발의 판단에 중요한 정보를 제공할 것이다.

〈그림 2-5〉 해양생태계서비스 정의 및 유형



자료: 저자 작성

인간과 바다의 관계 형성과 관련하여 중요한 해양공간의 특징은 해양공간과 인간-바다의 상호작용 및 영향에 대한 제한된 정보이다. 또한 해양생

48) MEA(2005), p. vi.

태계 서비스에 관심이 늘어나 해양생태계 서비스를 경제적 가치로 환산하는 방법이 개발됐지만, 정책에 활용하는 정도는 미비한 수준이다.

나. 다층적 해양 활동 간 상호작용을 판단하기 위한 해양공간정보 부족

정부는 해양공간통합정책을 위한 정보를 확보하고자 해양공간특성평가, 해양수산정보플랫폼 등을 개발하여 활용 중이다. 하지만 이러한 수단을 통한 정보는 대부분 해양공간의 현 상태를 설명하는 데이터이다.

〈표 2-1〉 해양공간특성평가 핵심 해양 활동별 평가항목: 부산 및 경남 예시

구분	핵심 해양 활동	평가항목	필수/보조	정량/정성
어업활동	어획	연근해 어획량	필수	정량
		연근해 어선밀집도	필수	정량
		단위노력당 어획량	보조	정량
	양식	양식장(면허어업권)	필수	정성
	수산자원관리	수산자원관리수면	필수	정성
골재·광물 자원개발	광업권	광업권, 채굴권, 탐사권	필수	정성
	골재채취	바다골재채취허가	필수	정성
		골재부존도	필수	정성
		골재유망단지	보조	정성
에너지 개발	해양에너지시설	조류발전시설	필수	정성
		파력발전시설	필수	정성
		온도차에너지시설	필수	정성
		풍력발전단지	필수	정성
		LNG 시설 존재 여부	필수	정성
		수중케이블 및 파이프라인	보조	정성
	발전예정단지	해상풍력 예정단지	필수	정성
	해양에너지 부존자원	에너지 부존밀도지도 (조류, 조력, 파력, 해상풍력 등)	보조	정량

구분	핵심 해양 활동	평가항목	필수/보조	정량/정성
해양관광	해수욕장	해수욕장	필수	정성
	낚시관광	유어장	필수	정성
		갯바위낚시 포인트	필수	정성
		선상낚시 포인트	필수	정성
		VPASS 낚시어선 밀집구역	필수	정량
	관광지정구역	어촌체험마을	필수	정성
		기능구 관광구역	필수	정성
		마리나항만구역	필수	정성
	수상레저	무동력 수상레저구역	보조	정성
환경·생태계 관리	해양생물 서식지	해조, 해초류, 해마, 산호초 서식지	필수	정성
		보호대상해양생물종 서식처	필수	정성
	해양생물 분포	해양생물 다양성지수	필수	정량
	보호구역	습지보호지역	필수	정성
		해양생태보호구역	필수	정성
		문화재보호구역	필수	정성
		국립공원	필수	정성
	무인도서	절대/준보전 무인도서	필수	정성
연구·교육 보전	해상연구시설	해상과학기지	필수	정성
	해양관측시설	해양관측부이	필수	정성
	영토관리	영해기점 무인도서	필수	정성
	해양생물 및 자원분포	점박이물범 이동 경로	보조	정성
		바다거북 이동 경로	보조	정성
항만·항행	주요항만	무역항	필수	정성
		연안항	필수	정성
	선박통항	항로(일반, 주요)	필수	정성
		교통안전특정해역	필수	정성
		정박지	필수	정성
		통항분리제도	필수	정성
		GICOMS 통항밀집도	필수	정량

구분	핵심 해양 활동	평가항목	필수/보조	정량/정성
군사활동	해상 군사활동 구역	해상사격훈련구역	필수	정성
		군함통제구역	필수	정성
안전관리	해상사고발생구역	대형어선통항 및 낚시활동 상충구역	필수	정량
	해상안전필요 구역	수상레저활동금지구역	필수	정성
		해양에너지 시설 등 산업 및 기간시설 주변 해역	필수	정성
		연안침식 관리구역	보조	정성
		무동력 레저에 대한 안전사고 다발구역	보조	정성

자료: 해양공간특성평가 지침(2019.6.12., 해양수산부 고시 제2019-76호)

해양공간특성평가 결과는 해양공간의 특성을 파악하기 위한 기초정보, 현상을 기술하는 정보라고 할 수 있다. 세부 평가항목은 다음과 같으나 정성적인 데이터가 많은 부분을 차지하며, 개별 데이터의 공간성과 동적 현상을 모두 포함하고 있지는 않다.

해양공간특성평가 결과는 해양공간의 9가지 부문별 활동의 수준을 한눈에 파악할 수 있는 장점이 있다. 이 평가의 주요 목적은 개별 활동과 관련된 현재 핵심 활동이 무엇인지를 진단하고 파악하는 것이다. 평가의 초점이 해양 활동 현상을 확인하는 것이기 때문에 개별 활동별 상대적 밀집 정도를 확인하는 것이다. 그래서 해양공간특성평가 결과만으로는 특정 해양활동이 다른 해양 활동보다 더 우선순위를 가진다는 것을 판단할 수 없고, 관련한 사회·경제적 증거들이 종합적으로 분석되어야 한다. 즉, 타 활동과의 상충 수준, 해양 활동의 사회경제적 혜택 정도 등에 관한 정보가 함께 고려되어야 한다.

일반적으로 해양공간계획을 위해서는 현상을 나타내는 다양한 근거 자료가 요구되며, 해양공간계획에서 이용하는 데이터는 행정 경계 및 관할 경계, 물리학적 환경 및 생태학적 특징, 인간 활동 및 분야, 사회경제 및 정책

분야이다. 이 자료는 현재, 미래(전망 및 동향), 부문별 정책과 연계 등을 확인할 수 있어야 한다.[49] 우리나라의 해양공간특성평가 결과는 이 분류로 판단할 때 기술적 정보에 해당하고, 사회·경제적인 현상에 대한 수준을 파악하는 분석 도구와 기술은 미흡하다.

〈표 2-2〉 해양공간계획의 데이터 범주: EU 사례

구분	EU 국가의 해양계획에 공통으로 이용된 데이터
1. 행정 경계	
경계데이터	국가, 지역, 지방, 영해, EEZ
2. 물리적·화학적·생물학적 정보	
물리적 특성	해저 수심, 유체역학, 바람 및 파도, 온도, 탁도, 투명성/빛, 염도, 수괴 및 체류 시간, 영양분과 산소, pH, pCO2, 해수 산성화
서식지 형태	해저, 수주, 서식지, 보호가 필요한 서식지
생물학적 특성	해저, 해조류, 어류, 이동 경로, 산란지 및 종묘 방류지, 바닷새, 비토착종, 종 서식지, 조류 이동 경로 및 월동지역, 지역 법안 또는 국제협약에 명시된 기타 종
압력과 영향	준설로 인한 물리적 파괴, 부영양화 및 조류 대발생, 추출로 인한 물리적 파괴, 투기로 인한 물리적 파괴, 수중 소음, 해양쓰레기, 중금속의 유입, 선박으로 인한 오염, 방사성핵종의 유입, 준설된 물질의 투기로 인한 화학적 영향, 세균 병원체의 유입, 비토착종의 유입, 종과 부수 어획물의 선택적 추출, 모래 채취로 인한 생물학적 변동, 준설된 물질의 투기로 인한 화학적 영향
3. 해양 활동·용도	
양식업	양식장, 양식 잠재력이 높은 지역
어업	연안 어업 지도, VMS, 선박 수, 선박 용량, 어업 방법별 선박, 어항, 항구당 어획고, 어류가공산업(위치), 총부가가치(국가), 총부가가치(지역), 직접 고용, 간접 고용, 중요한 어업 지역, 어업활동의 공간분포, 항구에 출입하는 선박 이동(보트 크기/어업 유형), 어업의 경제적 가치, 어업관리지역(특정 어업 유형이 제한되는 지역)
신재생에너지	풍력단지/파력/조력발전의 위치, 터빈/기타 플랜트의 수, 총 표면적, 수심, 연안까지의 최단 거리, 양륙 지점, 잠재적으로 적합한 지역, 유지보수를 위한 예상되는 연간 선박 이동, 직접 고용, 간접 고용
설비 및 기반시설	전기 케이블, 안전 구역/건설공사, 플랫폼, 부표, 포드(에너지 생산과 연결), 터널, 교량, 마스트

49) Cahill et al.(2017), p. 32.

구분	EU 국가의 해양계획에 공통으로 이용된 데이터
해양이동경로 및 차량 흐름	IMO 경로, 항로 입구, 정박지, 페리 라인/경로/MOS, AIS(선박 유형별(화물, 위험물, 여객, 레저보트, 어선 등), 시기별), 준설지역, 투기지역, 선박 운송의 제한구역
항구	항구 위치, 항구시설의 직접 고용 및 간접 고용, 취급 화물, 회전율, 총 TEU, 수심, 접근용이성(결정요인 : 선박 수, 정박지점 등)
자연과 종 보전 및 보호 지역	N2000 지역, SAC/SPAs, MPAs, 람사르 지역, UNESCO 생물권 보존지역, 해양국립공원, 레드리스트 종
군사	군사훈련 지역, 레이더 지역/군사 감시 지역, 군수품 처리 지역
원료 채취 지역	모래와 자갈 채취 지역, 천연가스 지역/인정 지역, 석유추출 지역/인정 지역, 탄소 포집과 저장 지역, fracking(셰일가스나 석유를 추출 기법)
과학연구	연구 지역, 측정소/네트워크
해저 케이블	사용 중인 전기통신/데이터 케이블, 사용하지 않는 전기통신/데이터 케이블, 고전압 케이블, 배관
해양레저 및 관광	레크리에이션과 관광 지역, 레저/스포츠 활동 지역, 정박지, 스포츠 활동 지역, 관광객 분포 (체류일), Blue Flag 해변, 바다 경치
수중 문화유산	세계유산지역, 등재된 기념물, 난파선, 기타 역사유적지 위치
연안 방어	준설지역, managed realignment 계획, 해안보호계획, 홍수방어계획
4. 공간정책	
	활동/용도를 위한 우선 구역, 활동/용도를 위한 유보 지역, 비거주 구역, 그 외 지역기반 관리시설, 공간 시너지와 갈등, 공간의 장기 비전
5. 사회·경제	
인구	지역별 인구추계, 인구밀도
경제지표	경제활동 지역, NUTs 지역
사회지표	복지지수(Well-being Index)

자료: Cahill et al.(2017), pp. 35-43의 자료를 바탕으로 저자 작성

다음은 해양공간계획을 위한 정보의 역할과 이와 관련한 유럽의 현안 사례를 정리한 것이다. 해양공간계획에서 정보는 계획의 절차를 지원하고, 해양공간의 정적, 동적 현상을 이해하고, 공공 참여를 포함한 계획 과정에서 의사소통 수단으로 역할을 하며, 계획의 연속성과 적응성을 판단하는 역할을 한다. 하지만 여전히 해양공간계획 제도의 요구사항과 비교해 준비된 데이터는 충분하지 않다.

〈표 2-3〉 해양공간계획 과정의 정보 역할

구분	정보의 역할	문헌에 제기된 문제와 현안의 예
계획 프로세스와 개발과정의 지속 여부	• 사회와 공동체의 일반적인 목표, 목적, 비전 및 우선순위를 요약하고 전달 • 해양공간의 현안을 광범위한 의사 결정 과정(다양한 정책 포함)에서 논의	국가에서 생산한 간접 정보 (정치, 사회, 경제 및 자연적 과정에 대한 정기적인 모니터링이 필요하며, 모니터링 과정에서 MSP 지원을 위해 관련 자료는 공간정보로 변환 필요, 해양공간 사용의 누적 편익과 필요한 한계 비용의 비교 및 결과 분석을 위한 모델개발)
해양공간을 계획 대상으로 이해	• 해안, 수중 및 수면, 해저 및 퇴적물의 상태 • 해양의 동적인 현상을 진단하고 분석 • 해양 동식물의 공간적 패턴을 설명하고 분석 • 수중 자연 유산 현황 • 기존 구조물과 선형 인프라 시설 현황	낮은 데이터 품질, 부적절한 데이터 품질 보증, 용존 산소, 서식지 등에 대한 현상 데이터 부족, 유럽 수준에서 판단할 수 있는 가용한 데이터의 부족, 데이터의 정확성과 정밀성에 대한 정보 부족, 일부 데이터 제공자의 가격 제한 정책, 불충분한 공간적 또는 시간적 데이터 해상도, 데이터 접근 및 활용 제한
해양공간 개발의 역학(dynamics) 이해	• 해양공간에 대한 이해관계자의 관심 파악 및 분석 • 해양공간 개발과 관련한 가능한 미래 대안	시각화, 정보 통합 및 학제 간 접근에 대한 특정 노하우와 기술이 필요한 가장 어려운 작업
적절한 커뮤니케이션 보장	• 다양한 유형의 공공 기관을 포함한 이해관계자에게 계획된 조치를 전달 • 국경을 초월한 개발 노력의 호환성을 보장	국제적인 데이터 일관성 미흡, 지층 퇴적물 등에 관한 일관되고 정의된 분류 시스템의 부족, 정보 교환 및 가용성 문제(예: 어업 데이터), 학제 간 의사소통 문제, 기관 간 정보 교환 시스템의 부족
연속성 확보 및 계획 프로세스의 적응성	• 계획이행의 모니터링 • 계획의 효과(성과) 평가 • 관련 정책에 대한 피드백	모니터링 프로그램을 위한 불충분한 데이터, 불확실한 상황에서의 계획을 위한 MSP 도구의 부족, 공동으로 합의된 목표와 관련하여 MSP 프로세스의 결과를 모니터링 및 평가

자료: Zaucha(2012). p. 465의 자료를 바탕으로 저자 작성

유럽 사례에서 확인한 해양공간계획과 해양공간 정보의 격차는 정보의 부족, 공간성 결여, 시의성 부족, 숨겨진 지식, 의사소통의 어려움, 규제 정보의 부족 등으로 볼 수 있다.[50] 정보의 격차는 결국 불확실성을 높이고, 부적절한 낙관, 손실 회피, 외부 효과 무시, 매몰 비용의 오류 등으로 귀결될 것이다.

〈표 2-4〉 해양공간계획 과정의 정보 격차 유형

정보 격차	설명
정보 부족	서식지 매핑, 해상풍력발전단지가 해양환경에 미치는 영향, 탄화수소 매장지 등이 충분히 조사·분석되지 않음.
정보 공간성 결여	자료는 조사되었지만, 입지, 공간 수요 등과 같은 공간적 측면에 대한 충분한 분석이 이루어지지 못함.
정보 시의성 격차	현재 자료는 조사되었지만, 개발 수요, 발전 잠재력 등은 확인이 어려움.
숨겨진 정보	지식이 존재하지만, 지식을 공유할 인센티브 부재(유인책 및 신뢰 부족이 원인) (예: 어획량이 높은 해양공간에 대한 정보는 암묵적 지식)
의사소통이 어려운 정보	지식과 정보가 존재하지만, 일부 프로세스를 모델링한 결과, 결과의 모호성 또는 언어 문제와 같은 프로세스의 복잡성으로 의사소통·전달 어려움.
규제 정보 부족	제도적 결함으로 인해 규제 영역에서 필요한 정보 부족 (예: 해양공간 사용에 대한 우선순위에 대한 정보 부족)

자료: Zaucha(2018), p. 27의 자료를 바탕으로 저자 작성

우리나라는 해양공간통합정책 도입을 준비하면서 해양공간의 정보와 과학의 부재를 인지하였다. 해양공간통합정책 도입 시 계획 수립은 해당 시점의 "최상의 가용한 정보(best available evidence)"에 의존할 수밖에 없다.[51] 이에 따라 지난 5년간[52] 우리나라 해양공간관리계획 제도는 적응관

50) 지식 부족, 공간성, 지식의 정적 속성은 본질적으로 해양공간을 인지하고 조사하는 방법과 관련이 있는 반면, 숨겨진 지식, 의사소통이 어려운 지식, 규제지식의 부족은 사회적 과정과 관련이 있다.

리원칙을 정하고, 이에 따라 해양공간의 여건 변화를 반영하여 수시로 조정할 수 있게 하였다. 동시에 데이터가 미비하다는 문제를 개선하기 위해 해양수산정보플랫폼을 개발하여 관련 기관의 데이터를 연계, 수집, 활용할 수 있는 체계를 만들고 해양용도구역 지정을 위한 기초정보로 해양공간특성평가를 개발하여 활용 중이다.

전 해역 해양용도구역 지정 과정에서는 다양한 이해관계자 진술과 요구사항이 있었다(Box 1과 Box 2 참고). 그런데 기존의 기초정보는 공간성과 동적 현상 점검이 어렵다. 경북 해양공간계획 수립 사례에서 강치와 같은 이동성이 높은 해양 종에 대한 공간정보가 없었고, 생애주기 전반에 걸쳐 필요한 공간변화에 대한 민감성에 데이터도 부재하였다. 결과적으로 해양생태계의 패턴과 이동 경로 등을 확인하는 것이 현재 상황에서는 불가능했다. 또한 해양관광·레저 활동 시 해양공간 수용력에 대한 신뢰할 수 있는 추정치가 없어서 해양관광 목적으로 해양공간의 용도를 정하는 것도 어려웠다. 제도적 상황, 데이터 부족, 정보 분석 등의 한계로 주장한 의견을 검토하고 수용하지 못한 의견들이 있었다. 이러한 상황에서 현재 해양공간 상태만을 가지고 분석하는 것은 계획을 작성하는데 적합하지 않다는 비판도 있었다.

국내 제도적·기술적 현재 여건은 경쟁 관계에 있는 해양 이용, 이용자, 유한한 자원 사이의 타협적 선택 시 결과(trade-off)를 정량적으로 비교·평가하고, 계획의 긍정적 및 부정적 결과를 정확하게 판단하기에 적절한 수단을 확보하지 못한 상황이다.[53] 향후 수시 조정을 판단할 수 있는 조정의 적절성 및 타당성 등을 점검하고 대안을 제시할 수 있는 과학적 분석 수단 및 기술이 필요하다.[54]

51) Cahill et al.(2017), p. 31.
52) 「해양공간계획법」 제정 연도인 2018년을 기준으로 계산
53) 남정호 외(2020), p. 139.
54) MSP는 경제, 사회, 생태적 목적의 달성을 위해 설계되는 통합된 미래 지향적인 계획

BOX 1 〈전북 계획 시 제기된 해양용도구역(안)에 관한 이해관계자 주장 및 의견의 예〉

해양수산부와 전라북도는 지난 '20년 10월 해양용도구역(안)을 마련하였다. 이후 지역협의회, 공청회와 주민 열람 등을 통해 전문가 및 이해관계자, 지역 주민 등의 의견을 청취하고, 전라북도 해양공간관리 지역위원회와 해양수산발전위원회의 심의('22.6)를 거쳐 최종 계획을 확정하였다. 이 과정에서 지역협의회 때 해양용도구역(안)에 대한 다양한 의견이 개진되었으나, 현재 상태에서 반영하기 어려웠던 의견들을 아래에 제시하였다.

(어업) "곰소만 및 격포 앞 해상, 위도면 갯벌은 각종 수산물 서식 장소이며, 양식장이 위치하고 있어 어업활동보호구역 확대 지정 요청합니다." (지자체 관계자)

"전북은 수산업이 중요하기 때문에 타 지자체와 동일한 수준, 즉 전북 해역의 30%를 어업활동보호구역으로 지정 필요합니다." (연구기관 전문가)

(관광) "최근에 개설한 연육도로, 신시도 수목원의 개장 등으로 관광수요 증가가 예상되므로 고군산군도 인근을 해양관광구역으로 반영 요청합니다." (국립수산과학원 갯벌연구센터 전문가)

"위도 인근해역에 관광 이용 수요를 고려하여 해양관광구역을 확대하는 것이 필요하다." (어촌계 어민)

(육해상 연계) "새만금 내측 공유수면관리와 연계한 해양공간계획 수립, 새만금 내측은 해수유통과 공유수면 관리 중이며, 미래 난개발 방지와 합리적 활용 방안 도출을 위해서 계획 간 연계가 중요하다." (한국생태연구원 전문가)

현재 우리나라 해양용도구역의 지정은 현재 해양공간의 이용 방법이 가장 우선이다. 즉 지금 해양으로부터 얻는 혜택을 더 이상 훼손하지 않고, 유지·증진하기 위함이 목적이다. 이렇게 제시된 의견은 대부분 미래의 수요를 적극적으로 반영하기 위한 주장이었다. 특히, 어민을 중심으로 어업 기초생산성 자료, 어획량 등의 자료를 활용하여 어업활동보호구역 확대 주장, 해양관광 이용 및 개발 수요를 반영한 해양관광구역 지정을 요청하였다. 하지만, 현재 제도 틀과 과학적 수준에서 해양공간을 특정 활동의 유망지, 예정지 등을 용도구역으로 지정 시 타 활동 간의 상호작용, 해양환경의 영향 등의 판단이 어려워 오히려 사회적 갈등 초래가 우려되며, 타 용도와의 형평성* 문제도 연계되어 있어 이해관계자의 주장만을 가지고 해양용도구역으로 반영하기 어려운 상황이었다. (* 바닷모래 부존량 높은 지역, 양식 잠재 공간, 공유수면 점·사용 허가 등을 받았으나, 아직 사업 추진 여부가 불투명한 각종 개발사업, 지자체·민간 차원의 관광개발 추진 예정지 등)



〔전북 해양공간관리계획 지역협의회 전경(2021.9.29.)〕

자료: KMI(2021), 전북 해양공간관리계획 지역협의회 자료(내부자료)

BOX 2 〈경북 계획 시 제기된 해양용도구역(안)에 관한 이해관계자 주장 및 의견의 예〉

해양수산부와 경상북도는 '22년 6월 경상북도 해양공간관리계획을 수립·고시하였다. 이 과정에서 이해관계자는 다음과 같이 진술하였는데, 아래의 의견은 전북과 마찬가지로 데이터 부족 및 통합 분석의 어려움 등으로 현 제도적, 과학적 여건으로는 논의를 구체화하는 데 한계가 있다.

(어업) "울릉도 서측을 어업활동보호구역으로 지정해달라. 강치와 같은 포유류의 개체수 조절이 필요하다. 이유는 강치가 물고기를 다 잡아먹기 때문이다." (울릉도 어업인연합 어민)

연구팀: 강치의 피해를 알기 위해서는 치 서식지 혹은 이동 경로에 대한 데이터 필요. 수산과 생태의 상충과 갈등 정도는 어느 수준인지? 공간관리가 필요한 상황인지? 향후 해양생태계의 영향과 강치의 지속가능성은? 의문을 해소할 수 있는 분석 틀 혹은 기준이 없어 반영이 어려움.

(어업) "포항항 항만구역 내 문어축제 등 어로활동이 많아 항만구역 축소 및 어업활동보호구역 지정 요청합니다." (포항 수산업연합 어민)

연구팀: 항만 부문은 해양공간개발을 위한 특권적 위치를 갖고 있다는 사회 · 문화적 여건에서 현재 새로운 이용에 관해 이 상황을 조정할 동기가 없는 상황. 항만 활용 수준과 어로활동의 상충 수준, 항만구역 축소를 해야 한다면 어느 정도 해야 하는지? 구역을 조정하는 동안 해양생태계서비스를 유지, 강화할 수 있는지? 누적 영향의 정도는 어느 정도인지? 이러한 상황을 검토할 수단 부재

(어업· 관광) "선상낚시· 수중레저활동 증가에 따른 어업과의 갈등이 발생하고 있다. 보호수면에서 낚시 활동을 제한하는 등 관광 활동의 관리를 강화해야 합니다." (포항 오도2리 어촌계장)

(미래수요) "공간계획 수립 시 장단기 변화 예측을 토대로 미래 수요 및 지역 특성을 고려한 방향성 제시 필요합니다." (대구경북연구원)



[경북 해양공간관리계획 지역협의회 전경(2021.11.25)]

자료: KMI(2021), 경북 해양공간관리계획 지역협의회 자료(내부자료)

다. 해양공간계획 수립단계와 이행단계 시 활용되는 데이터가 상이함

해양공간계획 수립 후 이행시 해양용도구역의 추가 지정과 변경의 업무가 발생할 것이다. 현 상황에서 ① 타 법률에 따라 지정된 지구·구역에 근거한 해양용도구역 지정, ② 해양공간에 인접한 육지의 배후단지 조성에 따른 육역-해역의 변경에 관한 사항을 반영한 해양공간관리계획 변경 수요, ③ 신규 해양 활동에 따른 해양용도구역 지정 및 변경 등의 업무 수요가 있을 것이다.

이러한 업무를 수행하는 데 있어서 기존의 해양공간정보는 몇 가지 문제가 제기된다. 해양용도구역 설정 시에 활용한 해양공간특성평가 결과는 광역지자체의 관할해역을 대상으로 그 공간을 격자로 구분하다 보니 같은 형태의 공간에서 개별 활동의 상대적인 평가가 가능하여 일관된 형태로 진단, 시각화할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 실제 해양용도구역에서 발생하는 특정 해양 활동의 범위가 격자에 비해 소규모로 이루어지고, 신규 해양 활동과 관련한 가용 공간정보는 매우 제한적이다. 결국 특정 활동에 따른 기존 해양용도구역 활동의 상호작용, 영향 등을 파악하기 위해 제대로 활용되기 어렵다.

또한, 해양공간특성평가 결과는 이행을 지원하기 위한 평가가 아니기 때문에 상호작용, 영향 등을 확인할 수 있는 분석과 기술이 필요하다. 정책을 추진하는 데 있어서 사회, 경제 현상과 관련한 정보는 어떠한 해양 활동이 적합한지 판단할 때 특히나 중요하지만, 이러한 정보가 매우 부족하다. 따라서 정책 추진단계별 필요 데이터 형태와 범주가 다르고, 이행단계에서는 시뮬레이션과 같은 기술이 필요하다. 또한, 계획 수립 초기 단계에는 현황 파악 및 진단이 중요하다. 초기 단계에서 현재의 해양 이용 및 활동, 해양환경에 관한 포괄적인 데이터가 수집·활용되기 때문이다. 이후 계획 이행 과정에서는 관련 필요 데이터가 더욱 복잡해지면서 다양한 갈등 및 시너지

분석, 다양한 활동의 공간·환경 간 양립성, 해양 이용 관리를 위한 향후 시나리오와 연계하여 다양한 분석이 필요하다.

현행 해양공간계획은 해양 활동의 미래 사회·경제적 효과와 영향 및 상호작용을 진단할 수 있는 과학적 수단이 부재하다. 최희정 외(2021)에서는 해양공간계획 담당 공무원 및 전문가를 대상으로 설문조사를 하여 계획 수립 및 이행과 관련된 개선사항으로 과학적 수단 활용과 갈등 조율을 제시하였다. 따라서 해양공간계획 이행에 따른 미래의 해양공간 및 이용행위의 변화를 추정하여 향후 갈등 요소를 예방할 수 있는 과학적 수단이 필요하다.

라. 해양공간계획 이행을 지원하기 위한 정보와 공간평가 분석 도구 미비

정보 격차와 관련하여 해양공간계획 관련 기관의 쟁점은 데이터 자체보다는 데이터의 분석과 활용과 더욱 관련이 있다. 즉 데이터 수집·생산보다는 계획 수립 기관에 필요한 분석과 검토를 위한 데이터의 연계와 방법에 관한 문제이다. 각 국가에서 공통으로 발견되는 현안도 데이터와 정보의 합성 및 분석과 관련되는 검색, 개발, 교환 방식에 대한 특히 평가와 영향력 분석 목적의 공간평가 분석 도구에 대한 필요성이다. EU의 보고서를 인용하면 유럽의 프로젝트에서 개발되거나 적용된 분석과 평가도구의 사례가 조사되었지만,[55] 이러한 도구들이 실제로 계획 수립에 이용되고 있다는 사례는 거의 찾지 못하였다. 그런데도 다음과 같은 종류의 분석에 관한 지원사례가 파악되었다. 우리나라도 유럽 등 해양공간계획을 추진하는 국가와 상황이 다르지 않으며, 다음과 같은 해양공간분석 도구의 개발이 필요하다.

55) Cahill et al.(2017), pp. 53-61.

〈표 2-5〉 해양공간계획 과정의 해양공간분석 도구 활용

- 어업 정보 분석, 어업 추세 분석, 공간적 측면을 포함한 어업활동 분석
- 어류 및 어업 관련 공간정보에서의 불확실성 관리와 제시 방법
- 누적 영향 평가
- 해양 계획과 해양 인허가의 공존 평가
- 영향력 평가 및 지속가능성 평가
- 시간 경과에 따른 활동 영향력의 유동성 평가
- 해양 활동과 생태계의 관계 분석
- 상호작용 및 리스크 분석
- 미래의 시나리오 개발 및 활용
- 인과관계, 영향의 누적, 리스크 평가
- 해양생태계 서비스 평가
- 생태계 기반 접근방식 이행 도구

자료: Cahill et al.(2017), pp. 50-51의 자료를 바탕으로 저자 작성

마. 해양공간의 갈등 조정을 지원하는 해양공간계획 시뮬레이션 도구 부재

해양공간계획은 해양공간을 대상으로 하므로 불확실성이 크고 이해관계자 간 가치 충돌 가능성이 큰 여건에서 법률에서 정한 절차에 따라 결정해야 하는 상황에 부닥친다.[56] 과학과 참여는 이러한 갈등 상황을 조정할 수 있는 중요한 요소가 된다.

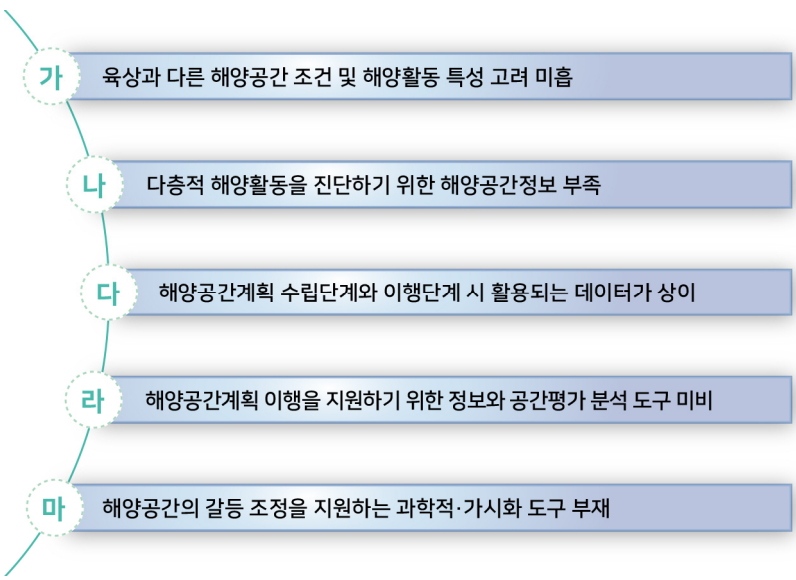
국내 해양공간계획은 그 성격을 참여와 협력의 계획이라고 정의하는 데서 알 수 있듯, 참여를 중요한 요소로 삼고 있다. 해양공간계획법은 무엇보다 해양용도구역을 정하는 과정에서 해양공간관리 지역협의회 및 지역위원회, 관계 행정기관 협의, 해양수산발전위원회 심의 등 다양한 논의의 장을 운영하도록 하여 이 원칙을 제도화하였다.

56) Jentoft & Chuenpagdee(2009); 남정호 외(2020), p. 223.

해양공간계획은 계획수립권자는 물론, 관련 이해관계자가 미래 추세의 공간 영역 및 보다 해양 활동 데이터를 해양공간에 시각화하는 도구가 필요하지만, 실제 계획 과정에서 이러한 도구를 활용하는 사례가 없다.

갈등은 불충분한 과학적 근거 하에 미래 상황에 대한 현재 이해관계자의 가치 판단의 차이로 나타나게 된다. 개별 이해관계자의 가치를 구현하는 시나리오 분석 도구가 필요하고 이 결과를 함께 공간적으로 확인할 수 있는 시각화 도구가 필요하다. 이러한 요구사항을 담은 기술이 시뮬레이션이라고 할 수 있으며, 시뮬레이션 기술의 과학적 근거와 투명한 절차 안에서 갈등의 폭을 좁힐 수 있을 것이다.

〈그림 2-6〉 국내 해양공간계획 이행 수단의 한계



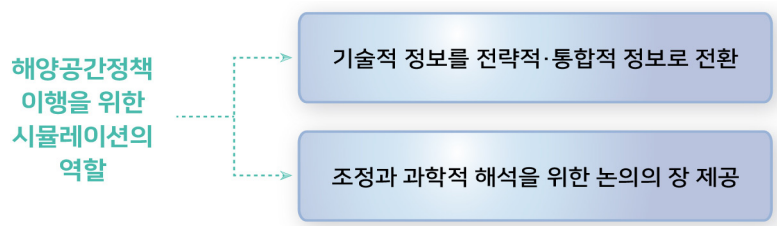
자료: 저자 작성

제2절 해양공간계획 시뮬레이션 개발 필요성

정책은 현안이 되는 사회현상을 변화시키는 것이 목적이며, 정책의 실효적 이행, 정책의 이행평가가 필요하다. 정책의 이행 시 나타나는 다양한 현안을 해결하려는 조치 혹은 대응이 이루어지는 과정과 결과를 시뮬레이션 할 수 있다면 이해관계자 간의 의견을 반영하여 정책을 검토할 수 있다.

시뮬레이션 기술은 모델을 이용하여 시간순으로 현상을 모의하는 것으로, 일상생활부터 우주에까지 널리 적용되고 있고, 향후 활용 가능성 또한 큰 기술이다. 시뮬레이션 기술의 중요성은 자동차나 항공기 시스템에서부터 전쟁 등 사회현상에 대해 특정 상황을 주면 어떤 결과가 초래되는지 진단할 수 있는 강력한 도구라는 데 있다. 해양공간정책의 이행과정에서 시뮬레이션의 기능 및 역할과 활용 분야는 〈그림 2-7〉과 같다.

〈그림 2-7〉 해양공간계획 시뮬레이션의 역할



자료: 저자 작성

1. 시뮬레이션의 기능과 역할

공간은 자연과 인위적 대상을 모두 포함하며 관계를 형성하고, 인간에 의해 개발되어 경제적으로 활용된다. 육상과 마찬가지로 해양공간은 위치, 거

리 및 대상 간의 관계(공간구조, 네트워크, 계층)로 결정된다.[57]

해양공간 개발 시에는 공간을 구성하는 대상과 그 관계를 식별하는 것이 중요하다. 해양공간에서 인간 활동과 상호 작용의 관계는 완전히 파악되지 않았고, 그 영향 또한 명확히 확인되지 않은 상황이다. 특히 확인된 상호작용 중 대부분은 해안선 인접 해역에서 일어나는 것에 국한되며, 육상과 관련되어 있다. 단일 해양 활동은 없으며, 그 활동의 경계는 주관적이다. 즉 해양공간을 구성하는 관계의 범위와 강도가 다양하게 중첩되어 있다.

해양공간통합정책은 다양하고 복잡한 해양공간의 이용과 개발 시 갈등을 최소화하고, 지속가능성을 높이는 방향으로 공간을 관리하는 것이다. 해양공간계획은 인간을 포함한 전체 해양생태계 시스템을 이해하고 이에 대한 대안을 찾는 방식으로 점차 발전하고 있다. 해양공간 상태를 이해하고 추정하기 위해서 시스템을 구성하는 요소와 이들 간의 상호작용에 따른 변화를 모의하는 과학적 도구가 유용할 것으로 판단된다.[58] 시뮬레이션 모형은 행위자와 시스템 환경이 상호작용 규칙에 따라 시스템 내부에서 활동함에 따라 변화하는 양상을 모의할 수 있다. 즉 시스템 내부에서 규칙을 따르는 행위자 구성원을 모델링하여 시스템의 변화 과정을 시뮬레이션하는 것이다. 이와 함께 시나리오 기반의 해양공간 평가와 예측 모델링 기술 개발을 통해 해양공간정책 영향의 변화를 동적으로 파악할 수 있다.

1) 계획 수립의 기술적 정보를 계획이행의 전략적 정보로 전환

시뮬레이션 기술은 계획 수립의 기술적 정보를 계획이행의 전략적 정보로 전환할 수 있다. 정부의 계획을 수용하고 이해관계자를 설득하는 데 정량적, 수치화된 근거를 제시하는 것만큼 강력한 것은 없을 것이다. 특정 조

57) Zaucha(2018), p.18.

58) 현실성 있는 관련 모수를 대입하여 시행착오를 거쳐 현상을 설명하는 모델을 만드는 것임. 이를 통해 전망과 예측을 하게 됨. 관련 모수는 반복적인 과정 속에서 결정함. (이효창·양지청, 2015, pp. 417-418.)

치와 대안을 설득하기 위한 명확한 방법은 정보의 활용이다.

계획 수립을 위해서 가장 선행되는 작업은 자료 수집과 현황 파악이다. 여기서 자료는 현황을 파악할 수 있는 기술적(descriptive) 정보라고 할 수 있다. 현재 우리나라 해양공간계획에서 가용한 자료는 대부분 기술적 정보에 해당한다. 이에 반해 전략적(strategic) 정보는 미미하며, 특히 미래의 이용 및 활동, 활동이 가지는 경제적, 환경적 영향에 관련해서는 더욱 그러하다. 물론 계획 수립 초기 단계에서는 분석을 통해 전략을 도출해야 한다는 점에서 기술적 정보는 필수적이다. 또한, 실제 계획의 이행에 있어서 데이터 측면의 현안은 한층 더 분석적인 정보와 전략적 근거가 필요한데, 정보와 근거를 확보하려면 평가, 영향, 갈등 분석용 공간평가 도구 및 시뮬레이션의 활용을 병행해야 한다. 유럽과 미국의 관련 프로젝트 차원에서 일부 초기 수준의 평가도구들이 개발되었다. 하지만 평가도구들이 해양공간계획의 목적에 부합하지 않거나, 도구의 존재 여부 또는 활용방식과 범위에 대한 인식이 미흡하여 그 활용이 미미하다.

시뮬레이션 기술은 개별적인 기술적 정보를 통합적인 전략적 정보로 전환하는 도구가 될 것이다. 이를 위해서는 해양 활동 간 상호작용과 인과관계에 대한 정보와 해양 활동의 누적 효과에 대한 데이터가 필요하다. 특히, 활동 간 갈등 분석은 물론 향후 기후변화 및 여타 요인들과 더불어 다양한 해양공간의 이용이 환경과 생태계에 끼치는 영향 정보에 관심을 가져야 한다.

정부가 펼치는 특정 정책이 사회에 어떤 영향을 미칠지는 쉽게 파악하기 어렵다. 인간을 포함한 사회-경제 시뮬레이션은 정확한 미래의 예측을 보장하지는 않으나, 계획수립권자 및 이해관계자에게 현상을 판단할 수 있는 전략적 기준과 방향을 제시할 수 있을 것이다. 또한, 현재 상태를 나타내는 기술적 정보가 아닌 다양한 상호 작용을 점검하고 확인할 수 있는 전략적 정보로 전환하는 수단이 될 것이다.

〈그림 2-8〉 해양공간계획 이행을 위한 정보 유형



자료: 저자 작성

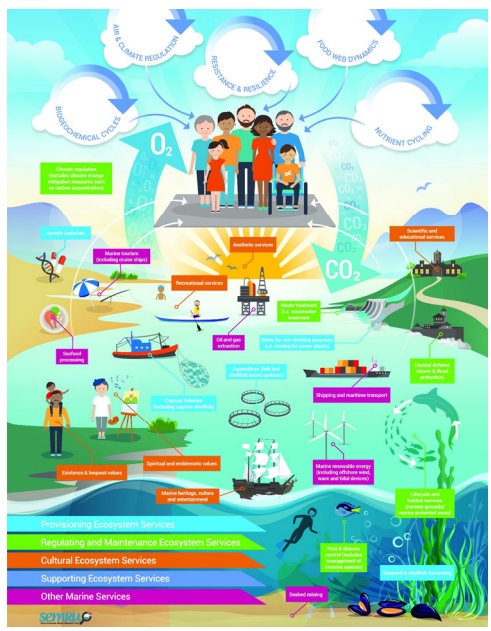
2) 해양공간계획의 이행 시 갈등 조정과 통합적 해석을 효율적으로 지원

시뮬레이션은 계획 및 의사결정을 위한 의사소통 및 학습 도구이고, 이를 통해 계획수립권자와 이해관계자는 다양한 활동 간 동적 상호관계, 행위자 간의 상호 의존성, 미래의 해양 활동의 결과를 경험적으로 이해하게 해준다.[59] 즉 시뮬레이션은 미래가 어떤 모습일지 제시하는 하나의 이미지를 결과로 제시하는 것일 뿐, 문제의 해답을 주지는 않는다. 정책수용성과

59) Abspoel et al.(2021), p. 1, 재인용: Duke(1974), p. 83.

공간관리역량이 미흡한 현 상황에서 해양공간계획 시뮬레이션 기술을 통해 이해관계자의 협력과 참여를 독려하고, 계획의 투명성을 높일 수 있다. 특히, 해양공간의 경우 계획 수립의 범위가 아주 넓고 인간 활동의 영향이 매우 다양할 뿐만 아니라 관리의 우선순위가 아직 결정되어 있지 않아 불확실성이 크다.[60] 따라서 해양공간계획은 해양공간의 지속가능한 성장과 발전이라는 포괄적인 목표를 달성하기 위해 여러 가능성을 고려해야 한다.

〈그림 2-9〉 해양공간계획을 위한 해양생태계서비스 이해



자료 : SIMCelt 스토리맵(검색일: 2022.9.14.)

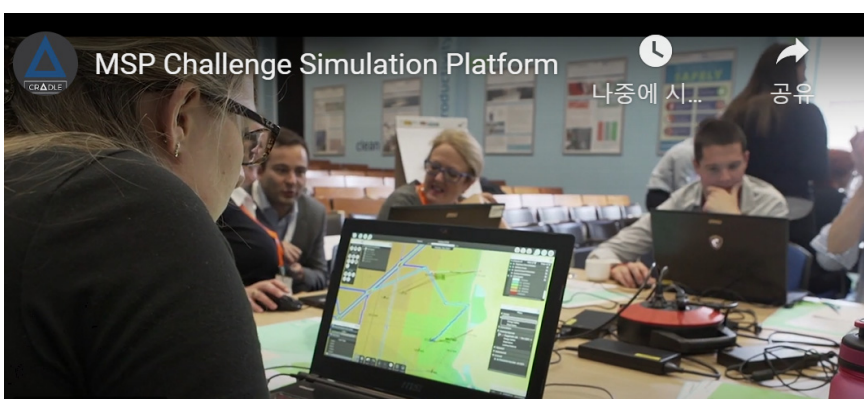
이러한 특성을 가진 해양공간계획은 다양한 분야의 미래 이용 및 활동을 고려해야 하므로 시뮬레이션 기술이 유용하게 사용될 수 있다. 실제 해양

60) 남정호 외(2020), p. 349.

공간계획을 수립할 경우, 현상의 기저의 다양한 프로세스에 대한 지식이 필요하다. 즉, 적절한 판단을 내리려면 지식이 필요하고, 그와 관련된 간접 데이터의 연계를 통한 종합적 해석이 필요한 것이다.

시뮬레이션 기술은 정책입안자, 계획수립권자, 해양 이용 및 개발업자, 이해관계자 등 당야한 사람들에게 실마리가 되는 데이터, 즉 이미지를 두고 논의할 수 있는 기반을 마련할 수 있게 한다. 이것은 정책 대안을 사전에 모의하고, 그 결과를 논의하는 참여·소통의 장을 제공하고, '실행에 의한 학습'을 유도하여 이해관계자에게 유익한 정보를 제공한다. MSP Challenge[61]를 접한 일부 사람들은 해양공간계획 같은 공공정책에 대한 시뮬레이션 접근 방식이 어렵다고 생각하지만, 이것이 최근에 과학기술의 발전과 더불어 광범위한 관심을 불러일으키고 있으며, 모든 이해관계에 통찰력을 제공하고 대화에 참여할 수 있게 한다며 긍정적 평가를 받은 것에는 의심의 여지가 없다.[62]

〈그림 2-10〉 MSP Challenge Simulation Platform



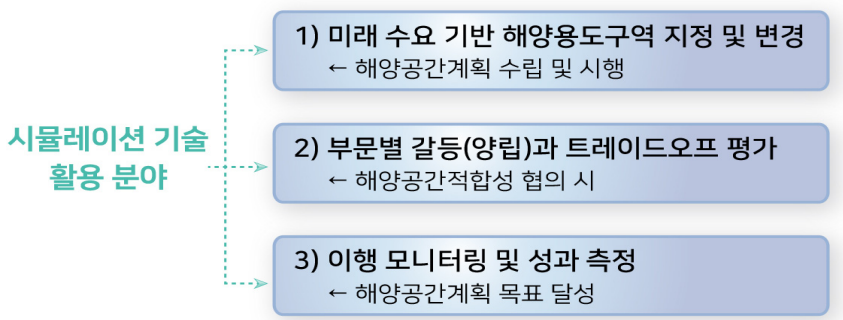
자료: MSP Challenge(검색일: 2022.6.20.)

61) MSP Challenge(검색일: 2022.6.20.)
62) Abspoel et al.(2021), p. 3.

2. 시뮬레이션 활용 부분

시뮬레이션은 다양한 이해관계자가 주장하는 의견을 포함한 시나리오를 구현하는 것이 가능하다. 즉 어떤 일이 일어날 것인가? 어떤 일이 일어날 수 있는가? 목표를 달성하는 방법은 무엇인가? 에 대한 질문에 해답을 찾아가는 데 도움을 줄 수 있다.[63] 우리나라 해양공간계획의 이행과정에서 시뮬레이션 기술 활용 분야는 다양한 이해관계자의 의견수렴, 종합적 해석, 공간 시각화 등이 필요한 '해양용도구역 지정 및 변경', '해양 활동 간 갈등과 협상 진단', '해양공간계획 이행평가' 등으로 구분된다.

〈그림 2-11〉 해양공간계획 시뮬레이션의 활용 분야



자료: 저자 작성

'해양공간계획 이행평가'에서 시뮬레이션 기술은 '바람직한 미래상에 이르기 위해 반드시 취해야 하는 조치들이 무엇인지?', '현재 계획 수립 대상 해양공간의 이용·개발 추세가 목표를 달성할 수 있을지?', '목표를 달성하는 데 방해가 되는 요인들이 무엇인지?' 등을 파악할 수 있게 하며, 계획이

63) 남정호 외(2020), p. 331.

행의 모니터링과 계획의 성과를 평가할 수 있게 한다. "'해양 활동 간 갈등과 타협 평가'에서 시뮬레이션 기술은 해양 활동과 관련한 구체적인 주장, 정책적 요구 등을 시뮬레이션으로 구현하고, 아직 명확히 정의되지 않은 미래 해양 이용을 통한 타 분야 활동의 변화 혹은 영향을 확인할 수 있게 한다. 특히, 이러한 기능은 해양공간적합성협의 보고서에서 '해양용도구역 및 관리 방향과의 부합성', '대상 해양공간의 다른 활동과의 영향 관계', '미래수요 및 환경변화를 고려한 지속가능성'을 검토할 때 시뮬레이션 기술을 통해서 정량적으로 확인할 때 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 결국 시뮬레이션 기능은 해양활동과 관련한 주장, 정책적 요구 등을 특정 용도에서 수용하는 것이 적절한지 판단할 수 있는 근거를 제공하고 실제 '해양용도구역의 지정과 변경' 과정에서 유용하게 활용할 수 있다.

시뮬레이션에 관해서는 다양한 방법론과 이론이 존재한다. 따라서 향후 계획 수립과 이행단계별 목적에 맞게 시뮬레이션 환경을 구축하고 활용해야 한다. 시뮬레이션 환경을 구축할 때는 무엇보다도 해양공간계획 의사결정에 필요한 데이터와 지식을 합의하는 과정이 필요하고, 계획 수립 과정의 시점과 규모를 고려해야 한다.

〈표 2-6〉 해양공간적합성협의 검토 사항

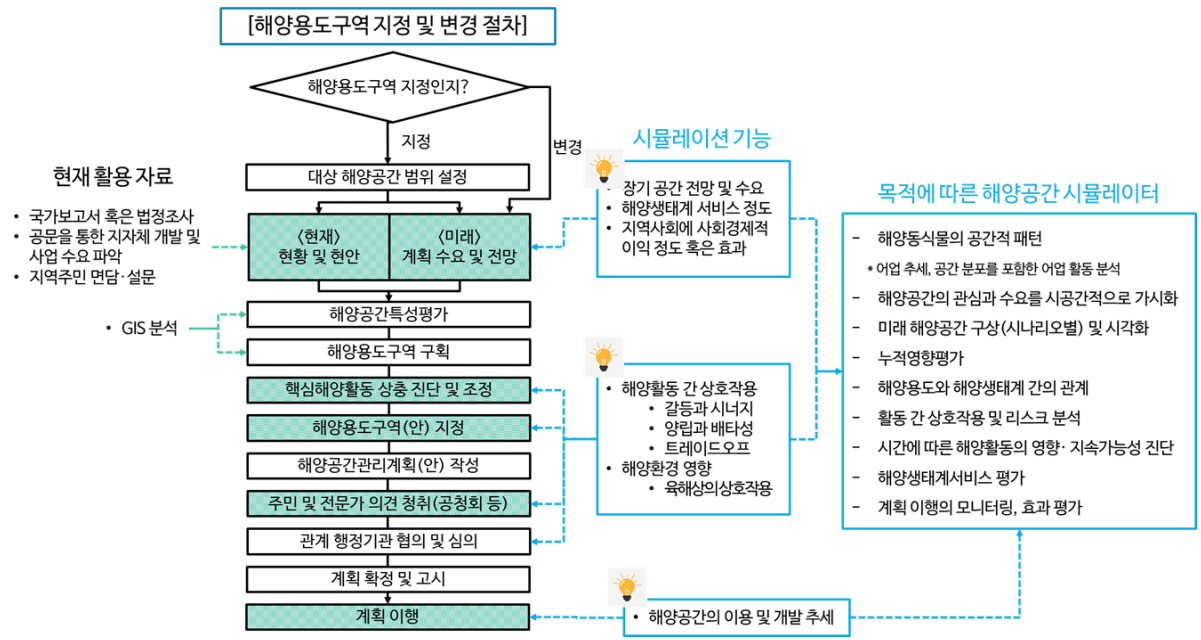
구분	핵심 해양 활동
계획의 개요	계획의 추진 배경 및 근거를 기술하였는가?
	계획의 입지, 규모, 기간을 기술하였는가?
	관련 법에서 규정하고 있는 계획 수립 절차 및 적합성협의 이후 후속 절차 등을 기술하였는가?
	해양에서의 개발내용이 명확하게 드러나도록 기술하였는가? (예, 공유수면 매립 면적, 해양과 육상공간 분리 등)

구분	핵심 해양 활동
대상 해양공간 범위 설정 및 개황	대상 해양공간의 범위 및 설정 근거를 적절히 기술하였는가?
	대상 해양공간의 타법률에 따른 관리 현황을 기술하였는가?
해양공간계획 정책 방향과의 부합성	해양공간계획 정책 방향을 기술하였는가?
	해양공간계획 정책 방향과의 부합성을 기술하였는가?
해양용도구역 및 관리 방향과의 부합성	해양용도구역과 그에 따른 관리 방향을 기술하였는가?
	해양용도구역 및 관리 방향에 따른 부합성을 기술하였는가?
	해양공간특성을 별도로 검토하였는가?
	(위 답변이 O일 경우) 해양공간특성평가 지침을 준수하였는가?
대상 해양공간의 다른 활동과의 영향 관계	해당 계획 및 해양공간의 특성을 고려하여 검토항목을 적절하게 선택하였는가?
	검토항목에 대한 영향 관계를 제시하였는가?
	대상 해양공간 내 발생할 수 있는 환경·생태적 영향을 검토하였는가?
	생태·환경에 대한 부정적 영향에 대한 저감 방안을 기술하였는가?
	주민(이해관계자) 의견 수렴 결과를 기술하였는가?
	(제시하지 않은 경우) 협의에 주민(이해관계자) 의견수렴이 중요한 사항으로 판단되는가?
미래수요 및 환경변화를 고려한 지속가능성	계획 규모에 대한 타당성 및 수요 예측을 실시하였는가?
	계획 규모 산정 및 개발 타당성(필요성)에 관련된 자료를 적절히 제시하였는가?
	개발 편익을 검토하였는가?
	사회·경제적 파급효과 및 기대효과를 검토하였는가?

자료 : 해양수산부(2022), 해양공간적합성협의 보고서 검토 매뉴얼(안), pp. 29-31.

요약하자면 본 연구에서 개발하고자 하는 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션은 기존 해양공간계획 관련 의사결정 체계에서 다음과 같은 역할 및 기능을 기대할 수 있다. 첫째, 기존 체계에서는 용도구역 지정을 위한 해양공간특성평가 과정에서 자료 수집 및 데이터 분석을 통한 현황 및 현안 분석이 수행되었으나, 시뮬레이션 기술을 도입함으로써 해양용도구역 이용 현황뿐만 아니라 미래 계획 및 이용 수요의 장기 전망과 지역사회의 영향을 예측하여 해양공간특성평가를 고도화할 것이다. 둘째, 현행 제도는 지역협의회 및 공청회 등을 통해 용도구역(안)에 대한 각 이해당사자의 개별 의견을 수렴하는 데 반해, 시뮬레이션 기술을 이용하여 용도구역의 여러 활동 간 상호작용 요소를 진단하고 잠재적 갈등을 예방하는 데 활용할 수 있다. 셋째, 해양공간계획 주무 부처인 해양수산부와 해양공간계획평가 전문기관 등 관계기관의 실무자 및 전문가 외에도 지자체 관리계획의 이해당사자인 지역주민 및 단체에서 시뮬레이션 기술을 이용하여 용도구역 지정(안)과 용도구역 지정에 따른 미래 영향을 직접 확인함으로써 제도에 대한 이해도와 수용성을 개선하는 데 기여할 수 있다.

〈그림 2-12〉 해양용도구역 지정 및 관리 절차별 시뮬레이션 역할과 기능



자료 : 저자 작성

03
행위자기반 시뮬레이션 관련 연구 동향 분석과 적용 시사점

본 장에서는 시뮬레이션 방법론으로써의 ABM(행위자기반모형)의 배경 이론과 방법론 특성, 그리고 국내·외 시뮬레이션 개발 및 활용에 대한 동향에 대해서 살펴보고자 한다. 이러한 선행연구 고찰을 통하여 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션의 설계 및 개발, 활용을 위한 효과적인 방안을 도출하고자 한다.

제1절 행위자기반모형의 개념과 특징

1. 복잡계 과학 및 이론적 배경

복잡계는 하나의 중요한 과학적 연구의 소재로, 상호 연결된 다양한 요소들로 구성된 시스템이라고 정의될 수 있다.[64] 이러한 복잡계는 물리적,

64) Wilensky & Rand(2015), pp. 5-7.

생물학적, 사회학적 대상을 수학적으로 분석하는 학문 분야로, 1980년대 카오스 연구를 거쳐 1990년대 이후 발전하기 시작하여 2000년대 들어서 경제학, 정책학 등 사회과학 분야로 개념이 확장되었다, 복잡계 과학(complexity science)은 현상을 파악하기 위한 도구 및 기반 틀로써 제공된다. 어떠한 현상이든 복잡계로 간주할 수 있다. 복잡계의 특징은 구성 요소들을 독립적으로 이해하고 있다는 것만으로 그 현상을 이해할 수 없으며, 따라서 수많은 구성 요소가 상호작용을 통해서 현상과 그 질서가 나타나는 시스템이다.[65] 일반적인 복잡계의 특성은 비선형성, 되먹임 고리, 상호작용, 창발, 동적, 자기조직화로 정의된다. 복잡계의 특성은 시뮬레이션 기법의 하나인 ABM이 개발된 이론적 배경이 된다. ABM은 이러한 복잡계 과학의 계산적 모형(computational model)의 하나로, 복잡계 특성을 토대로 다양한 시스템의 메커니즘과 시스템을 이루고 있는 구성요소를 개별적이 아닌 통합적으로 파악할 수 있는 주요 도구 중 하나이다.

복잡계 이론에 기초한 ABM은 복잡계의 여러 특성 중 비선형성, 상호작용, 동적 특성을 잘 반영하는 시뮬레이션 방법론이다. ABM은 대상 현상과 구성요소 간의 직접적인 관계 외에도 개별 행위의 변화와 상호작용을 함께 모델링하므로, 구성요소와 현상 간의 직접적인 선형관계가 아닌 일반적으로 비선형적 패턴을 시공간 차원에서 동적으로 재현한다. ABM의 이러한 특성은 해양공간의 시공간 차원에서 동적으로 변화하며 상호작용하는 다양한 이용행위와 환경·생태계의 특성을 잘 반영할 수 있다. 이어서 다른 시뮬레이션 방법론 및 모형과의 비교를 통해서 ABM의 특성에 대해 상세하게 살펴보도록 하겠다.

65) 한규현(2007), pp. 56-57.

2. 행위자기반모형의 특성 및 시뮬레이션 모형 비교

1) 행위자기반모형의 특성

전술하였듯, ABM(행위자기반모형)은 복잡계 과학의 새로운 연구 방법으로서 연구자의 관심 현상이 발생하는 시스템의 구성요소 간 상호작용을 모의하여 현상을 규명하는 시뮬레이션 접근법이다. 특정 현상을 지배하는 법칙(가령, 수학적 모형)을 발견하는 기존 시뮬레이션 방식과 달리,[66] 현상의 배경이 되는 시스템 내부에 주체자(행위자)와 주체자의 활동(행위), 그리고 주체자 간의 교류(상호작용) 방식에 대한 설정과 규칙을 사전에 정의하여, 시스템 속에서 주체자가 활동과 교류를 하도록 모델링한다. 따라서 ABM은 단순한 수식으로써 정의하기 어려운 인간 행위나 상호작용이 개입되는 복잡한 현상을 규명하는데 적합한 연구 방법이다.

전술한 복잡계 측면에서 현상적으로 발현하는 ABM의 가장 큰 특성은 동일 모형을 활용한 모의 결과가 매번 달라질 수 있다는 점이다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 모형으로 구축한 환경에 분포하는 행위자들이 일정한 법칙을 따르되 다소 무작위적으로 이동하며, 이동 전후에 주변 환경 및 여타 행위자와 특정한 방식으로 상호작용을 하면서 매 시점 국지적인 변화를 일으키기 때문이다. 그리고 이러한 변화는 다음 시점에 행위자의 상호작용과 이동에 영향을 주므로 파급효과의 예측 가능성은 급격히 감소하고, 이러한 되먹임 고리가 반복되면서 어떠한 동적 경향성, 즉 창발(emergence) 현상이 나타난다. 따라서 ABM은 현실 세계의 개체별 행위에 대한 내재 동기를 법칙으로 구현할 수 있다는 점에서는 연역적 방법론에 속하나, 법칙으로 설정한 원인과 모의 결과 간의 직·간접적인 인과성을 검증하기보다는 모의 결과로 얻은 창발 현상이 현실 세계의 현상과 유사한

66) 생태계 모델과 같은 일부 모델은 시스템(생태계) 구성요소의 상호작용을 분석하여 수학식으로 나타낸다.

지에 주목하는 귀납적 방법론의 특성을 동시에 지닌다.[67]

상기한 특성 외에도 시뮬레이션 도구로서 ABM의 두드러지는 특성은 크게 세 가지이다. 첫째, 상대적으로 협소한 공간 범위에서 발생하는 개별 또는 소규모의 행위와 사건에 집중하는 미시적 모형이다. 둘째, 시계열 변화에 따라 개별(소규모) 사건이 연속적으로 발생하는 동적 모형이다. 셋째, 사건의 누적에 따라 발생하는 상대적으로 거시적인 현상 및 변동(창발)을 중점적으로 다루는 상향식 모형이다. 이러한 특성은 행위자기반모형이 여타 시뮬레이션 방법과 공유하거나 구별되는 특성으로, 공간계획 시뮬레이션 분야에서 주로 활용하는 여타 모형과의 특성 비교는 아래에서 구체적으로 다루겠다.

2) 시뮬레이션 모형 비교

실제 물리적 공간에서 재현하기 어려운 상황을 가상의 공간에서 재현하는 기술인 시뮬레이션은 주로 컴퓨터를 이용한 실험을 통해서 현상을 규명하고 예측하는 데 활용된다. 일반적으로 시뮬레이션은 시스템에 투입되는 외생변수(독립변수)와 시스템의 상태를 나타내는 상태변수, 그리고 시스템에서 산출되는 내생변수(종속변수)로 구성되는 수학 모델을 이용한 분석적 모형(analytical model)을 이용한다. 분석적 모형은 시스템의 구성요소 및 상태가 단순한 경우에 현상의 속성을 설명하는 데 유용하지만, 구성요소 및 현상이 비선형적인 방식으로 작동할 때 적용하기 어렵다는 한계점이 있다. 따라서 비선형성의 복잡한 현상을 규명하는 경우 ABM은 분석적 모형보다 더 적합한 시뮬레이션 방법이다. 일반적으로 분석적 모형은 전체 시스템과 시스템 구성요소를 구분하여 분석하는 반면에, ABM은 동시에 고려함으로써 시스템과 구성요소 간의 영향 관계 혹은 상호작용을 규명하여 현

67) Axelrod & Tesfatsion(2006), pp. 1649-1651.

상을 더욱 현실적으로 분석할 수 있다.[68]

이 외에도 ABM은 시간의 변화에 따른 시스템과 구성요소의 역동성을 모델링하며, 구성원 간의 이질적 특성을 가정한다. ABM과 기타 시뮬레이션 기법의 차이점을 요약하면 다음과 같다.[69]

〈표 3-1〉 ABM과 기타 시뮬레이션 모형의 차별점

구 분	ABM	분석적 모형
이론적 기초	자료 의존	이론 의존
접근 방식	귀납적 접근	연역적 접근
모델링 방식	컴퓨터 프로그래밍	수학식
구성원 특성에 대한 가설	이질성	동질성
시간 역동성	동적	정적

자료: Kwon & Silva(2020). p. 172의 자료를 바탕으로 저자 작성

시뮬레이션 방법론의 차이점으로 인해 ABM은 다음의 연구 질의(research questions)에 적합한 시뮬레이션 접근법이다. 따라서 시뮬레이션 기법의 선택은 앞서 방법론의 특성 및 차이점, 연구 질의에 대한 검토를 통해 결정할 수 있다.

- 환경의 특성이 구성원에게 미치는 영향은 무엇인가?
- 구성원의 행동이 환경에 어떤 영향을 미치는가?
- 구성원 간의 상호작용이 구성원 및 환경을 어떻게 변화시키는가?
- 시간에 따라 구성원 및 환경은 어떻게 변화되는가?
- 구성원 간 차이에 따른 영향은 무엇인가?

68) 이상엽·이기헌 (2015), pp. 3-6.
69) Kwon & Silva(2020), pp. 161-179.

시뮬레이션은 실제 현상이나 시스템의 작동을 모사한 것으로, 현실 세계에서 해당 현상 또는 시스템을 직접적으로 재현할 수 없거나 비용과 시간 및 인력 등의 소모를 줄이고자 할 때 주로 활용하는 방법이다. 시뮬레이션은 전통적으로 실물을 축소한 모형을 활용하여 수행해왔으나, 최근 컴퓨터를 통해 가상현실에 구현한 다종다양한 유형의 논리 모형이 활발히 개발·활용되고 있다. 최병남·임은선·이동우(2006)은 공간계획 분야에서 시뮬레이션을 개발하는 과정에 공간적 혹은 비(非)공간적 방법론을 비교하고 공간적 방법론의 적용 필요성을 피력하였다. 따라서 이 보고서는 공간적 방법론에 해당하는 주요 시뮬레이션 모형들을 제시하고, 각각의 특성을 앞서 제시한 모의 대상의 공간적 범위(거시-미시), 시계열에 따른 시스템 변동 고려 여부(정적-동적), 모형의 접근 구조(하향-상향)에 따라 비교하였다.

가. GIS-SD 결합 모형

시스템 다이내믹스(SD: System Dynamics, 이하 'SD')는 시스템을 구성하는 다양한 구성요소의 변화가 시스템 내부의 다른 요소들과 복잡하게 얽힌 역동적인 상호작용에 따른 되먹임 사슬(feedback loop)을 거쳐 거시적인 차원에서 시스템에 어떠한 현상을 발생시키는지 파악하는데 활용하는 모형이다.[70] 이런 특징에 따라 SD 모형은 거시적·동적·하향식 특성을 가진다.

본래 SD 모형은 시스템 내부 요소들을 변수화하여 공간적 차원을 고려하지 않은 개념적 모형으로 국지적인 공간적 변화와 이에 따른 동적 상관관계를 파악하는 데 제한적이다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 비교적 동질성이 높은 구역이나 공간 격자(grid)별로 모형을 따로 구축하여 GIS와 연계하는 방안 등이 제시되었다.[71] GIS와 SD 결합 모형은 구성이 복잡하

70) Ruth & Pieper(1994), p. 375.
71) *ibid.*, pp. 376-377; Voinov et al.(1999), pp. 474-477.

고 고성능의 연산 능력 등 방법론 개발 및 활용 측면에서 어려움이 많다. 하지만 기존 모형과 달리 미시적, 상향식으로 접근하는 연구에도 적용하며, 국내에서는 최병남·임은선·이동우(2006)이 시공간 통합 국토시뮬레이션 모형의 개발방안을 검토하면서 GIS와 SD의 연계 방안을 제시한 바 있다.

나. 유전알고리즘 모형

유전알고리즘(GA: Genetic Algorithm, 이하 'GA') 모형은 자연환경의 적자생존, 즉 자연선택 원칙에 착안한 준확률적 탐색알고리즘으로, 공간 모형의 경우 무작위로 생성한 초기 격자 조합(해)을 토대로 교차와 변이를 반복적으로 수행하여 이상적인 해를 도출하는 최적화 방법론이다.[72] 공간-비공간 시뮬레이션 양측에 적용할 수 있으며, 공간 시뮬레이션 분야에서는 주로 특정 용도에 대한 최적 입지를 도출하거나 전체 공간계획의 효율성을 극대화하고자 할 때 활용한다. GA 모형은 시스템 내 세부 구역의 이질성을 바탕으로 최적해를 탐색한다는 측면에서 미시적 특성을 가지며, 전역적 차원에서 개별공간에 대한 의사결정을 수행한다는 점에서 하향식 접근성을 지닌다. 또한 공간변화의 역동성보다는 효율성과 합리성에 집중한다는 측면에서 정적 특성이 있다.

다. 세포자동자 모형

세포자동자(CA: Cellular Automata, 이하 'CA') 모형은 대표적인 격자기반 모형으로, 시스템을 구성하는 격자 간 상호작용에 따라 격자의 분포와 밀도 및 유형 등의 변화로 대표할 수 있는 현상을 모의하는 데 활용할 수 있다.[73] 방법론적으로 미시적, 동적, 상향식 특성을 가진 모형으로, 시계열 변화에 따라 시스템으로 구성한 환경(격자) 내에서 위치를 바꾸며 주변과 상호작용하는 행위자가 존재하는 ABM과 달리 격자 자체가 주변 격

72) Michalewicz(1994), pp. 13-14.
73) Tobler(1979), pp. 379-380.

자와 상호작용한다는 점이 상이할 뿐, 많은 부분에서 유사점을 지닌다. 이 때문에 CA 모형이 ABM의 이론적 토대 또는 전신이라는 견해도 있다.[74]

〈표 3-2〉 공간계획 분야의 주요 시뮬레이션 모형별 특성 비교

구분	모의 대상의 공간 범위 (거시적 - 미시적)		시계열 변화 고려 (정적 - 동적)		모형의 접근 구조 (하향식 - 상향식)	
GIS-SD 결합 모형		미시적		동적		상향식
GA 모형		미시적	정적		하향식	
CA 모형		미시적		동적		상향식
ABM		미시적		동적		상향식

자료: 저자 작성

ABM을 포함하여 앞서 다룬 모형들의 방법론적 특성을 비교하면, 최근 공간계획 분야에서 주로 활용하는 모형들은 주로 거시적인 시스템의 변동을 해석할 때 시스템 내부의 세부 구역에서 발생하는 미시적인 현상에 주목한다. 이는 공간적으로 균질하지 않고 이질적인 공간들의 집합으로 이루어진 현실 세계를 시스템으로 구축하고 현상을 재현하고자 할 때, 거시적 방법론의 활용성이 제한적인 경우가 다수 존재하기 때문으로 판단된다. 컴퓨터를 활용한 연산 능력의 제약이 해소되고 접근성이 개선된 점 또한 미시적 방법론이 대두된 데에 긍정적인 영향을 주었을 것이며, 이러한 영향은 동적 모형의 활용 증가에서도 찾아볼 수 있다. 이 외에도 실세계를 구성하는 엄격한 법칙(원리)에 주목하여 시스템을 구축하는 환원주의적 관점으로 해석하기 어려운 현상을 이해하는 대안적 방법으로 복잡계 과학이 주목받음에 따라 개체(소집단)의 거동에 집중하는 상향식 모형의 활용도 활발해진 것으로 판단된다.

74) 원동규·임종연(2011), pp. 1264-1265.

3. 행위자기반모형의 구조

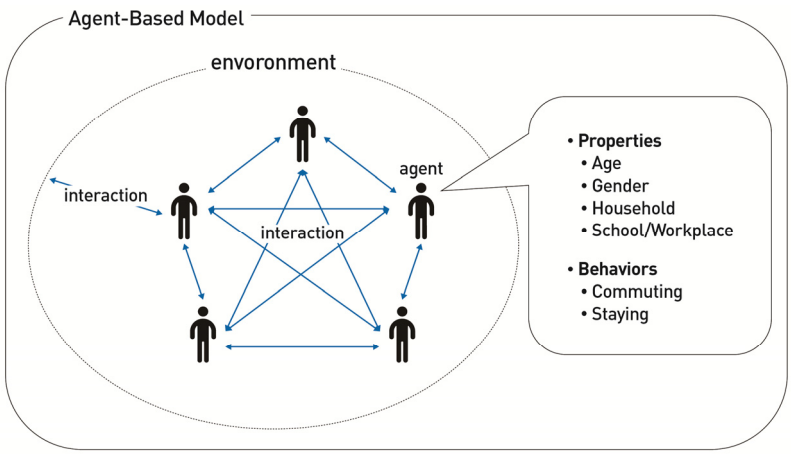
1) 행위자 및 환경

ABM은 질병의 확산, 도심의 변화 등의 다양한 시공간 현상을 이해하고 시뮬레이션을 시행하고자 하는 방법론 중 하나로 다양한 연구 분야에서 활용되고 있다. 이러한 ABM의 가장 큰 장점 중 하나는 개인 수준에서 이질적인(heterogeneous) 개인의 행위와 개인들의 상호작용, 개인과 환경 간의 상호작용을 통해서 현상을 이해할 수 있다는 점이다. 이러한 ABM을 활용하여 현재 다양한 시공간 현상에 대한 보다 나은 이해와 더불어 시나리오 분석 등의 시뮬레이션을 통하여 정책을 분석하기 위해 이용되고 있다.

ABM을 구성하고 있는 구성요소는 크게 행위자(agent)와 환경(environment), 상호작용으로 확인할 수 있다. 이때 행위자는 ABM의 가장 핵심적인 구성요소로, 행위자를 결정하고 디자인하기 위해서 큰 노력을 기울여야 한다. 행위자는 기본적으로 행위자의 특성과 행위로 정의가 된다. 행위자의 특성은 행위자의 상태 혹은 어떠한 특성에 관한 것을 의미하며, 시뮬레이션을 통하여 영향을 받게 된다. 또한 행위자는 다양한 행위를 하도록 정의가 된다. 이때 행위는 통근 및 통학과 같은 장소의 이동, 다른 행위자 간의 접촉 등이 포함된다. 행위자의 행위가 동기적(synchronous)으로 정의가 되면 행위자는 시뮬레이션 상의 정해진 시간 단위(월, 일, 시, 분, 초 등)에 따라 행위가 이루어진다. 반면에 행위자의 행위가 비동기적(asynchronous)으로 정의되는 경우는 시간 단위와 관계없이 다른 행위자의 행위로 행위가 이루어지는 등의 정기적인 행위가 발생하게 된다. 예를 들어, 통학·통근과 같은 행위자의 행위는 매일 오전 9시에 행위자가 집에서 학교 혹은 직장으로 가는 행위는 동기적인 행위이며, 다른 행위자의 행위로 유발된 행위는 시간과 관계없이 비동기적으로 발생하는 행위라고 할 수 있다.

ABM의 핵심 구성요소인 행위자는 크게 자율성, 이질성, 활동성, 습득과 적응, 그리고 환경의 4가지의 특징을 지니고 있다,[75] 행위자를 둘러싸고 있는 환경은 ABM의 또 다른 중요한 요소 중 하나이다. 특히 행위자는 공간환경에 위치하는데, 이때 공간은 현실 세계의 지리적 위치일 필요는 없으며, 벡터 혹은 격자의 형태로 표현 및 정의된다. 공간적 ABM은 ABM에서의 현상을 공간적인 관점을 토대로 표현하는 것으로, 이때 환경은 현실 세계의 지리적 위치가 환경으로 정의된다. 마지막으로 현상은 또한 행위자들 간, 행위자와 환경 간 상호작용을 통해서 표현되게 된다. 이때 상호작용은 행위자의 특정한 행동이 다른 행위자의 행위와의 연결을 통해서 발생하게 된다.

〈그림 3-1〉 ABM의 구조



자료: 저자 작성

ABM을 구성하는 행위자와 환경의 이러한 특성은 ABM이 해양공간의 다양한 이용 주체와 구체적인 활동, 그리고 행위자 간 혹은 행위자와 환경 간

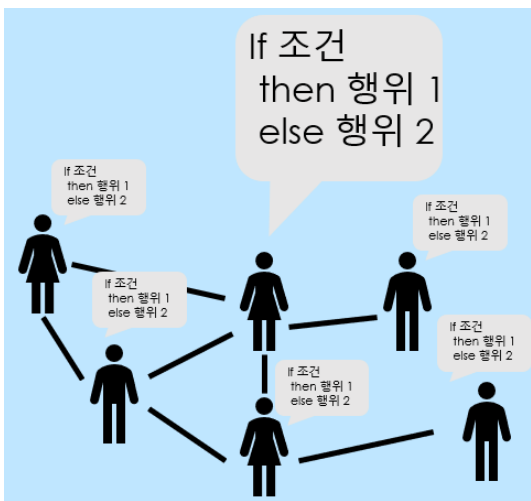
75) Crooks et al.(2018), pp. 15-18.

상호작용을 모델링하는 데 적합한 시뮬레이션 방법론임을 증명한다. 이어서 ABM에서 행위자의 활동과 상호작용을 정의하는 규칙에 대해서 살펴보겠다.

2) 의사결정 규칙

의사결정 규칙은 행위자의 활동이나 의사결정을 이끌기 위해 각각의 행위자에게 부여된 일련의 규칙을 말한다.[76] 이러한 규칙은 행위자가 다른 행위자와 행위자를 둘러싸고 있는 환경과의 관계에 영향을 미치게 된다. 의사결정 규칙은 모든 행위자에게 동일하게 부여될 수도 있으며, 각각의 이질적인 행위자에게 다르게 부여될 수도 있다. 일반적으로 규칙은 if-then-else 구조로 정의가 된다. 행위자는 특정 조건을 만족하게 될 때 이미 정의된 활동을 수행하게 된다. 이때 행위자는 학습(learning)과 적응(adaptation) 개념을 적용하여 다음 활동을 위하여 의사결정 규칙을 진화시킨다.

〈그림 3-2〉 ABM의 의사결정 규칙



자료: 저자 작성

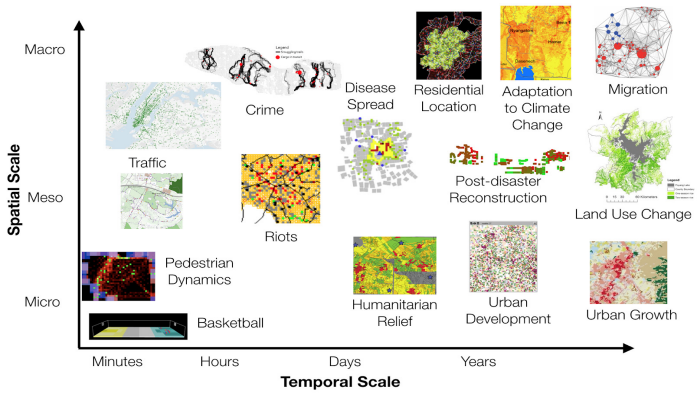
76) Crooks et al.(2018), pp.18-22.

3) 공간적 행위자기반모형

공간 모델링에서 실제 지리적인 위치는 필수적으로 고려해야 할 사안으로, 공간적 ABM는 실제 위치가 반영된 모형이다. 공간적 ABM에서 행위자는 가상의 공간이 아닌 현실의 실제 공간에 위치하게 되며, 이러한 지리적 위치에서 행위자는 의사결정 규칙에 따라 이동하거나 활동하게 된다. 특정 공간의 자원의 양, 토지이용의 변화, 질병의 발생과 같이 행위자의 활동은 공간상에서 상호작용을 통해 다양한 결과를 초래하며, 공간적 ABM은 이러한 특성을 모델에서 잘 재현할 수 있다.

공간적 ABM은 시공간 규모에 따라 다양하게 구성될 수 있다. 공간 규모에서 건물화재 발생 시 대피경로와 같은 미시적인 관점에서는 실내에서 발생하는 활동을 모델링할 수 있으며, 도시 홍수로 인한 도로 통제와 같은 거시적인 관점에서는 도시, 환경, 해양공간 등에서 발생하는 다양한 활동을 재현할 수 있다. 또한 시간 차원에서 보행 통행의 단기간 예측부터 도시성장과 같은 장기 전망까지 분석할 수 있다.

〈그림 3-3〉 공간적 ABM의 응용 분야



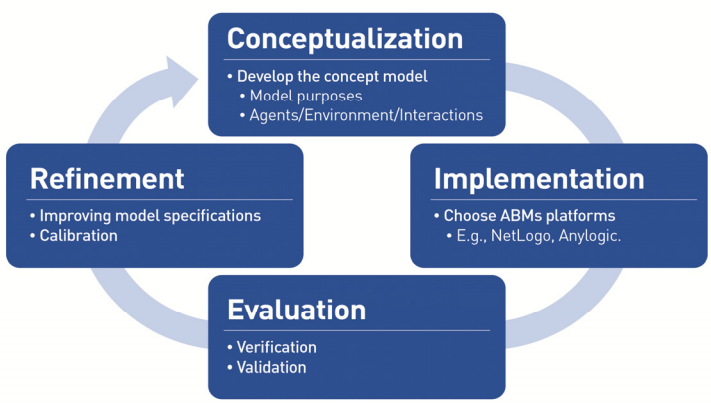
자료: Crooks et al. (2018), p. 71.

4. 방법론적 특성

1) 행위자기반모형의 개발 단계

일반적으로 ABM의 개발과정은 개념화, 구축, 평가, 수정의 반복적인(iterative) 과정을 거치게 된다. 먼저 개념화 단계에서는 ABM의 구성요소에 대해서 명확하게 하는 과정이다. 이때, 모형의 목적, 요소(행위자의 특성, 행위, 상호작용), 결과를 정의하는데,[77] 이러한 개념화 단계를 통해 개념 모형이 완성된다. 개념화는 모형의 재사용성(reproducibility)을 위해서는 필수적인 과정이다.

〈그림 3-4〉 ABM 개발 단계



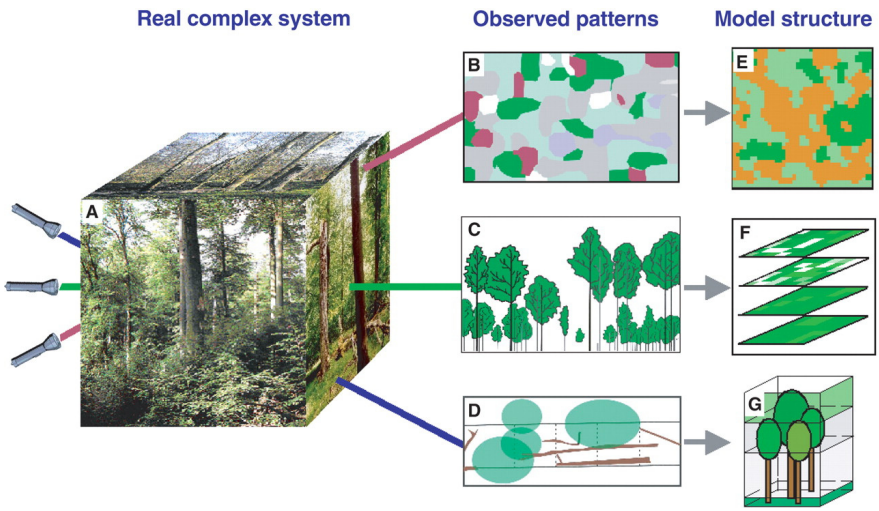
자료: 저자 작성

구축 단계는 모형을 구축하고자 하는 현상에 대한 개념화가 끝나게 되면 일반적으로 프로그래밍 언어(R, C++, Python 등) 혹은 ABM 구축 플랫폼(NetLogo, Repast, AnyLogic 등)을 통해 모형을 구축하게 된다. 일반적

77) Wilensky & Rand(2015), pp. 158-163.

으로 ABM 구축 플랫폼을 활용하게 되면 GUI(Graphic User Interface) 환경에서 모형을 더욱 쉽게 구축할 수 있다. 또한 사용자 포럼을 통하면 모형의 공유 등이 수월해진다.[78]

〈그림 3-5〉 패턴 기반 모델링



자료: Grimm et al.(2005), p. 989.

전술한 과정을 통해 모형이 구축되면, 모형에 대한 평가가 필수적으로 이루어져야 한다. 모형의 평가는 크게 검토(verification)와 검증(validation)으로 구분된다. 검토는 모형이 개념화 단계를 통해 구축된 개념 모형과 상응하는지 확인하는 과정이며, 구축된 모형을 실행했을 때 오류를 수정하는 디버깅(debugging) 과정을 포함한다. 한편, 검증은 모형이 모형에서 표현하고자 하는 현상을 얼마나 잘 표현하고 있는지를 확인하는 과정이며, 모형을 구성하고 있는 요소들이 현실 세계를 얼마나 잘 반영하고 있는지를

78) Open ABM(검색일: 2022.9.16.)

확인하는 것이다. 또한, 시뮬레이션의 결과물과 현실 세계에서 측정된 관측치와의 비교를 통해서 검증한다. 이때 통상적으로 패턴 기반 모델링 방법으로 검증하는데,[79] 예를 들어 숲을 모형화한다고 가정하였을 때, 각종 나무 종의 분포, 높이 등의 관측치가 모형을 통해서 어떻게 묘사되고 있는지를 확인하는 것이다. 최종 단계로, 검증을 통하여 모형이 실제의 관측치와 상이할 때는 모형의 구조와 모형 내부의 파라미터를 조정하여 모형을 수정한다. 이러한 모형 수정 과정을 거쳐 모형은 표현하고자 하는 현상을 더 잘 재현하게 된다.

2) 행위자기반모형의 한계점

앞서 살펴본 ABM의 여러 특성과 함께 모형의 불확실성, 연산 강도 등 한계점을 가지고 있으므로 모형의 개발 및 활용 단계에서 관련 문제에 대한 충분한 고려와 구체적인 대안이 필요하다.

가. 모형의 불확실성

ABM에 내포된 불확실성(uncertainty)은 모형 내부에서 정의된 행위자의 속성, 행위, 상호작용과 관련한 가정 및 파라미터와 관련되어 있다. 시뮬레이션 연구는 가용한 데이터를 활용하게 수행하게 되는데, ABM 실행을 위한 마이크로 데이터는 상대적으로 수집하기 쉽지 않다. 일반적으로는 연구자의 판단에 따른 임의적인 가정이나 확률분포를 기초로 자료를 생성하여 시뮬레이션에 적용하는 방식을 대안으로 삼는다. 이때 행위자의 속성, 행위, 상호작용을 임의로 가정하거나 확률분포에 따라 설정함에 따라 모형의 불확실성이 높아지고, 결과적으로 시뮬레이션 결과가 실제 현상을 제대로 재현하지 못할 가능성이 있다. 따라서 모형의 불확실성은 시뮬레이션

79) Grimm et al.(2005), pp. 987-991.

결과의 신뢰도에 영향을 미치는 중요한 문제이다.

ABM은 특성상 데이터의 의존도가 높고, 모형의 불확실성은 행위자의 행위 및 상호작용 규칙에 대한 충분한 자료의 수집이 어려운 여건에서 중요하게 검토되어야 할 사항이다. 모형의 불확실성을 해소할 방법은 충분한 데이터를 적용하는 단순한 방법에서부터 이론 연구 및 경험을 통해 더욱 견고한 가정 및 확률분포에 기초하여 대안 자료를 생성하는 방법이 있다. 실제 ABM을 이용한 시뮬레이션 분석에서는 시뮬레이션 결과의 예측치와 관측치를 비교하여 모형의 불확실성을 측정할 수 있다. 상세한 내용은 본 보고서의 4장 4절(모형 검증)에서 다루도록 한다.

나. 연산 강도

일반적으로 ABM은 많은 확률변수로 구성된 모형이다. ABM을 이용한 시뮬레이션 분석을 위해서 보통 30~100회 이상 반복 시행되어야 하며, 따라서 시뮬레이션 결과를 더 정교하게 분석하기 위해서는 고강도의 연산을 수행하기 위한 컴퓨팅 기술이 지원되어야 한다. 연산 강도를 분산시킬 수 있는 병렬처리 컴퓨팅(Parallel Computing) 기술이나 슈퍼컴퓨터, ACI(Advanced Cyber-Infrastructure)와 같은 첨단 컴퓨팅 기술을 활용하는 경우 ABM과 같은 고강도의 시뮬레이션 분석을 수행하기에 용이하다.

과거와 달리 최근 개인용 컴퓨팅 환경은 어느 정도 강도의 연산을 처리할 정도로 높은 사양을 하고 있으므로 ABM을 이용한 일반적인 시뮬레이션 연구를 수행하는 데 문제가 되지 않는다. 다만, 개인 수준의 단일 사례 분석이나 실험실이 아닌 실제 현장의 복잡한 현안을 해결하기 위한 시뮬레이션 시스템 개발·운용을 하는 경우는 다중 이용자가 시스템에 접근, 이용 가능한 고사양의 컴퓨팅 환경이 요구된다.

제2절 국내·외 시뮬레이션 개발 및 활용에 관한 연구 동향

이 절은 해양공간계획 등 공간관리 정책의 의사결정을 지원하면서 참고할만한 국내·외 시뮬레이션 개발 및 활용 사례를 정리하였다. 특히 시뮬레이션 도구 중 ABM을 중점적으로 검토하였는데, 해양 분야에서 ABM을 활용한 의사결정 지원 도구의 개발 사례가 존재하는 국외와 달리 국내에는 관련 사례가 부재하여 해양공간관리 분야의 의사결정 지원 도구와 ABM 개발 및 활용 사례를 각각 조사한다.

1. 국내 동향

국내 해양정책에서 구체적인 공간적 구조화 방안이 도입된 것은 2007년 연안관리법 개정을 통한 연안용도구역을 시초로 볼 수 있다. 그러나 연안관리법에 근거한 연안용도구역은 현행 해양용도구역과 유사하게 해양공간의 이용개발 행위를 해당 용도구역으로 제한하는 법적 위상을 갖추지 못하였고, 더욱이 해양공간적합성협의 제도와 같은 이행 수단도 부재했기 때문에 용도구역의 설정, 변경 및 예측 등 사회·정치적 수요가 많지 않았다고 할 수 있다. 결과적으로 해양정책 분야에 다양한 시뮬레이션의 개발 사례가 존재하나, 공간적 구조화는 포함하지 않은 경제학적 추론모형 및 개념적 시뮬레이션 모형이 다수이며, 공간 의사결정 지원을 목표로 한 사례는 많지 않다. 따라서 국내 동향은 해양공간정책 지원을 위한 시뮬레이션 개발에 있어서 참고할만한 해양정책 분야의 시뮬레이션 모형 개발 및 활용 사례와 ABM을 활용하여 공간정책을 지원한 타 분야의 시뮬레이션 개발 및 활용 사례를 조사하였다.

가. 정책적 의사결정 지원 도구로써 시뮬레이션 활용 사례

금종수·장운재(2004)는 해양안전정책 분야에서 시뮬레이션을 통해 정책 의사결정을 지원한 대표 사례로, SD 모형을 적용하여 해양 사고의 원인과 개선책의 요소를 추출하였다. 이 연구는 기존 사고 자료(1997년)[80]를 참조하여 정량 및 정성적으로 요소 간 되먹임 작용과 이에 따른 변화를 모의하는 표준모형을 구축하였다.[81] 이후 해양 사고가 증가하는 경우, 수출입 화물량이 증가하는 경우, 해기사 면허의 발급기준을 강화하는 경우, 연안해역의 통항 선박 교통량이 증가하는 경우 등의 정책 시나리오를 수립하여 1997년부터 2020년까지의 예상되는 해양정책 변화를 모의하고 그에 따른 선박의 등록 수와 물동량, 종사자 수의 변화를 확인하였다.

최종두·조정희(2008)에서는 생물경제학적 정태적·동태적 시뮬레이션을 통해 수산물의 가격변화가 자원량, 어획노력, 어획량에 미치는 영향을 모의하였다. 동 연구에서는 정태적 분석을 통해 총수입과 총비용이 동일한 지점에서 자유어업의 균형이 발생함을 확인하였으며, 동태적 분석 결과, 가격이 높을수록 수산자원이 감소하고 고갈에 이르나, 적정가격에 도달하면 자원량이 일정 수준으로 수렴하는 것으로 나타났다.[82] 이러한 분석 결과를 통해 수산물의 가격 조정 등 정책 대응을 통해 어족 자원(해양생물) 관리가 필요함을 주장하였다. 이와 유사한 수산 분야의 사례로 은종호(2015)에서는 양식 미역 패널 추정 수급 시뮬레이션 모형을 통해 일본 엔화 가치 변동에 따른 미역 수급의 변화를 모의하였다. 동 연구에서 2015년 자료를 기반으로 엔화 가치 변동에 대한 다수의 시나리오를 생성 및 적용하여 미역 수급의 변화를 모의한 결과, 수출량은 비교적 환율에 민감하게 반응하지만, 양식 면적과 생산량, 가격 등의 변화는 작은 것을 확인하였다.[83]

80) 해양경찰청(2002)의 2001년 해난사고통계연보를 활용함
81) 금종수·장운재(2004)
82) 최종두·조정희(2008)
83) 은종호(2015)

항만 분야의 연구로는 신재영·이장군·박형준(2020)이 있다. 동 연구는 부산항 컨테이너터미널을 사례로 소규모로 분산 운영된 기존 터미널을 통합하여 효율성을 높이는 방안을 모색하였다. 터미널 통합 세부 방안별 효과를 비교하기 위해 산업 시뮬레이션 소프트웨어(Rockwell Arena)를 이용하였으며, 컨테이너터미널의 통합 운영 유형별 시나리오를 시뮬레이션하여 부분적 통합은 제한적인 효과에 그치고, 전체 통합 운영이 효율적 컨테이너터미널의 운영을 위한 가장 효과적인 대안이라고 주장하였다.[84]

해양환경 및 연안 관리 분야에서 눈여겨볼 만한 선행연구로는 디지털 트윈 플랫폼으로 해양 스마트시티와 해양환경을 구현하여 다양한 목적의 시뮬레이션에 활용할 수 있는 패키지를 구축한 임학수(2022)가 있다. 동 연구는 기후변화와 이로 인한 해양 침식, 해수면 상승 등 연안 재해의 증가에 대응한 연안 및 해양 안전관리에 있어서 디지털 트윈 기반 시뮬레이션 기법의 활용 가능성을 검토하였으며,[85] 대표적인 활용 예시로 세 가지를 제시하였다. 구체적으로는 첫째, 해양 인프라와 인공구조물을 가상현실에 구현하고 다양한 기후변화시나리오를 적용하여 해양 인프라와 인공구조물 계획의 연안 피해방지 효과를 검증하는 것, 둘째, 해수면 상승 및 인공구조물 건설에 따른 해안선 변화를 모의하는 것, 셋째, 지역 표사(연안퇴적물) 관리를 위한 시뮬레이션 도구로 활용하는 것이다.

나. 정책 시뮬레이션을 위한 행위자기반모형의 적용 사례

국내에서 행위자모델에 대한 정책 시뮬레이션의 개발 및 활용은 주로 국토계획과 교통, 보건, 생태환경 등의 분야에서 수행하였다. 특히 1990년대 후반에서 2000년대 초반까지의 시기에 교통 분야를 중심으로 ABM의 활용 방안을 소개한 후로 2010년대 전반에 걸쳐 다양한 학계와 관련 기관에

84) 신재영·이장군·박형준(2020)
85) 임학수(2022)

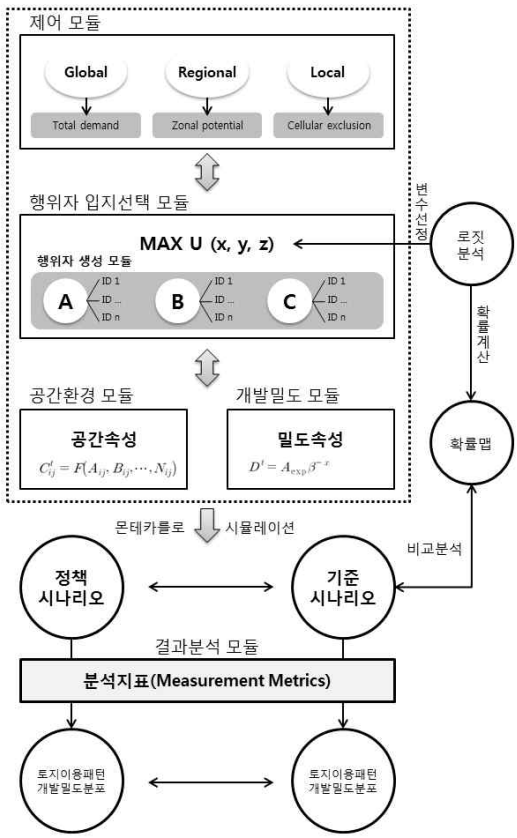
서 정책의 효과 검증 등에 활용하는 방안을 논의하였다. 이 중 중앙정부와 공공기관이 수행한 국가정책 시뮬레이션 분야는 국토계획과 환경 분야의 활용 사례가 대표적이다. 이 중 대표적인 사례를 대상으로 기관, 개발기간, 목표 및 정책적 활용을 정리하자면 다음과 같다.

〈표 3-3〉 국내 공간계획 적용 사례: 목표와 정책적 활용, 관련 연구 및 보고서

명칭	기관	기간	개발 목표	정책적 활용	참고문헌
행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용방안 연구	국토연구원	2014	각종 개발정책이 지역의 개별적 행위주체에 미치는 영향과 이로 인한 도시구조의 변화를 모의	• 의사결정 지원을 위해 사용자조작도구(UI)의 개발 필요 • 후속 연구가 진행된 바 없음	김동한 외(2014)
부동산시장 여건 변화에 대응한 주거지재생 효과분석 시스템 구축(I-III)	국토연구원	2013-2015	주거지재생의 방식과 지역 특성에 따라 원주민들의 주거지재생지역 재정착률이 어떻게 변화하는지에 대한 정책적 효과 확인	• 현실 자료를 가상공간에 투영하여 정책의 주택시장 파급효과의 재현 결과에 대한 신뢰도 제고 • 3년간(2013-2015) 동일 모형을 타 지역 및 자료에 적용한 결과를 바탕으로 정책적 의의를 도출 • 2016년 이후 후속 연구가 진행된 바 없음	전성제 외(2013; 2014) 변세일 외(2015)
주택구매소비자의사결정구조를 반영한 주택시장 분석 체계 구축	국토연구원	2020	기본조건과 주택금융정책(금리, LTV 등)에 따른 서울시 주택시장 변화양상 모의	• 후속 연구 및 활용 여부는 확인되지 않음	박천규 외(2020)
다행위자시스템을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(1-5)	서울대	2011-2015	강원도 평창군, 정선군 일대의 가리왕산 국유림에서 생태계서비스를 극대화하면서 지역주민의 소득을 늘리는 정책대안 수립과 정책 의사결정 지원	• 기존 산림생태연구와 결합한 산림생태관리 의사결정시스템 구축을 위해 5개년 간 수행 • 2016년 이후 사업 종료, 이후 학술적 연구로 전환(2016-2017)	박수진 외(2011; 2012; 2013; 2014; 2015a)

자료: 저자 작성

〈그림 3-6〉 ABM을 활용한 국내 정책 의사결정 지원시스템 개발 사례



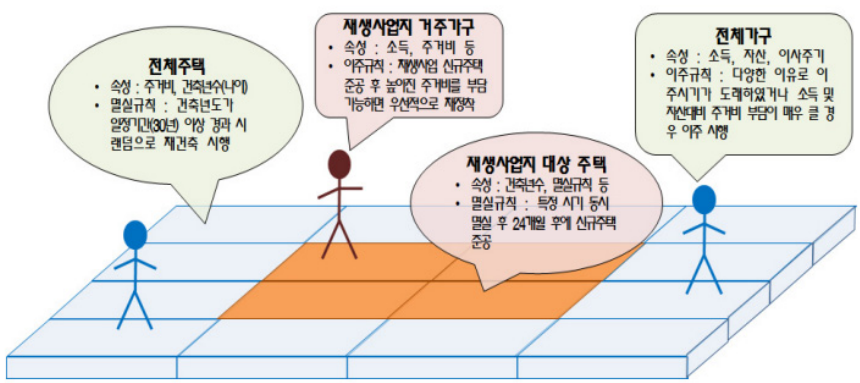
자료: 김동한 외(2014), p. 51.

김동한 외(2014)는 국토계획 분야의 대표적인 정책 시뮬레이션 사례로, ABM을 이용하여 각종 개발정책이 지역의 개별적 행위 주체에게 미치는 영향을 모의함으로써 정책 의사결정을 지원하는 시스템을 개발한 바 있다. 이 연구는 부산권역(부산, 김해, 양산)의 실증자료를 활용하여 개발정책의 주요 행위자를 단지개발의 주체인 개발자와 산업입지의 주체인 개별산업체

로 설정한 모형을 구축하였다.[86] 이후 현 추세연장 시나리오와 압축개발 정책 시나리오를 설정하여 모의를 수행한 결과, 현 추세연장 시나리오에서 예상되는 무분별한 고밀도·난개발이 압축개발 정책 시나리오에서 어느 정도 억제 되는 것을 확인하였다. 다만 연구진은 이 사례를 일종의 시험 연구이며, 의사결정시스템으로 본격적으로 활용하기에 앞서 정책 의사결정자나 일반 대중의 사용자 편의성을 보완할 필요가 있음을 밝혔다.

전성제 외(2013), 전성제 외(2014), 변세일 외(2015)는 ABM을 이용한 시뮬레이션을 통해 주거지재생 후 원주민의 재정착률 등 주거지재생정책의 효과를 모의한 연구를 수행하였다. 이 연구는 국토교통부의 주거지실태 조사자료와 통계청의 국내인구통계조사를 바탕으로 일부 지역에서 주거지재생이 이루어지는 가상의 공간을 설정하였으며, 가구를 행위자로, 주거지재생정책을 시나리오로 설정하여 행위자기반모형ABM을 구축하였다.[87]

〈그림 3-7〉 ABM을 활용한 국내 주거지재생정책 효과 모의 연구 사례

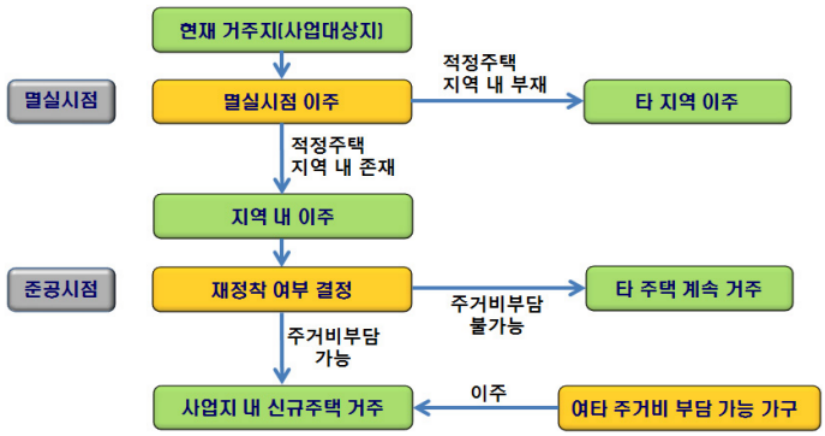


자료: 전성제 외(2013), p. 125.

86) 김동한 외(2014)
87) 전성제 외(2013); 전성제 외(2014); 변세일 외(2015)

주거지재생정책 시나리오는 재건축, 재개발 등의 멸실형 방식과 개별신축 및 개보수와 같은 수복형 방식으로 나누는 재개발 형태 시나리오와 주거지재생정책 시행 시 임대주택 비율을 선정하여 각종 정책 시행 시 원주민의 재정착률 변화를 모의하였다. 시나리오별로 모의 결과의 차이를 현실과 비교하는 방법으로 신뢰도를 검증하였으며, 이 모형을 통해 임대주택의 비율이 높아질수록 원주민의 재정착률도 유의미하게 높아지는 결과를 확인하였다.

〈그림 3-8〉 국내 주거지재생정책 효과 모의 사례의 이주-재정착 프로세스 개념도



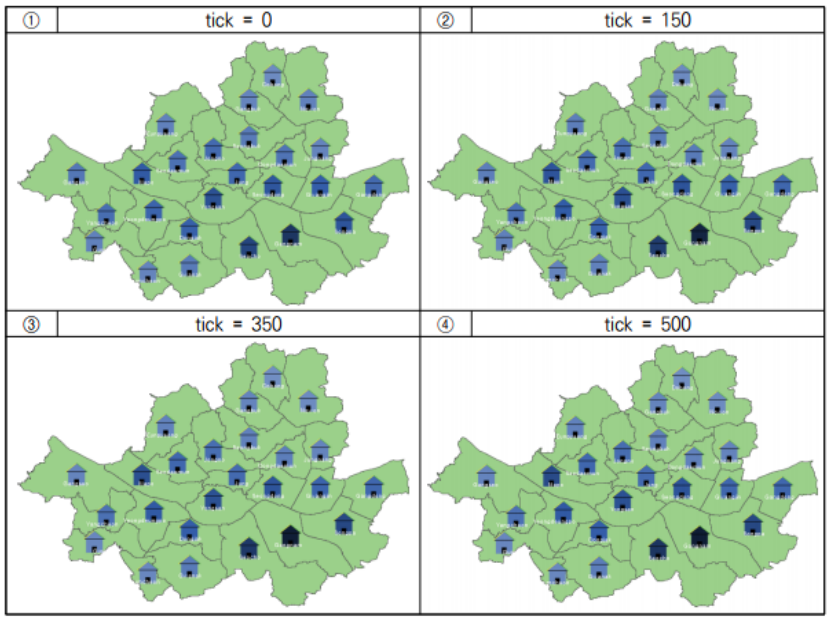
자료: 전성제 외(2013), p. 124.

박천규 외(2020)에서는 주택정책 분야에서 주택구매소비자의 의사결정 분석에 ABM을 사용한 사례이다. 이 연구는 서울시의 매매시장 참여자를 행위자-환경으로 구성하고, 아파트 공급시장의 수요-공급에 따라 시장참여자들이 탄력적으로 가격을 설정하도록 모형을 구축하였다.[88] 다양한 부동산정책 변수 중 금리 인상과 LTV 강화 정책에 대한 시나리오를 설정하였

88) 박천규 외(2020)

는데, 모의 결과 두 정책 모두 부동산가격 안정에 효과적이나 경향성은 시나리오별로 상이한 것을 확인하였다.

〈그림 3-9〉 국내 주택구매소비자 의사결정 추정 모형 구축 사례



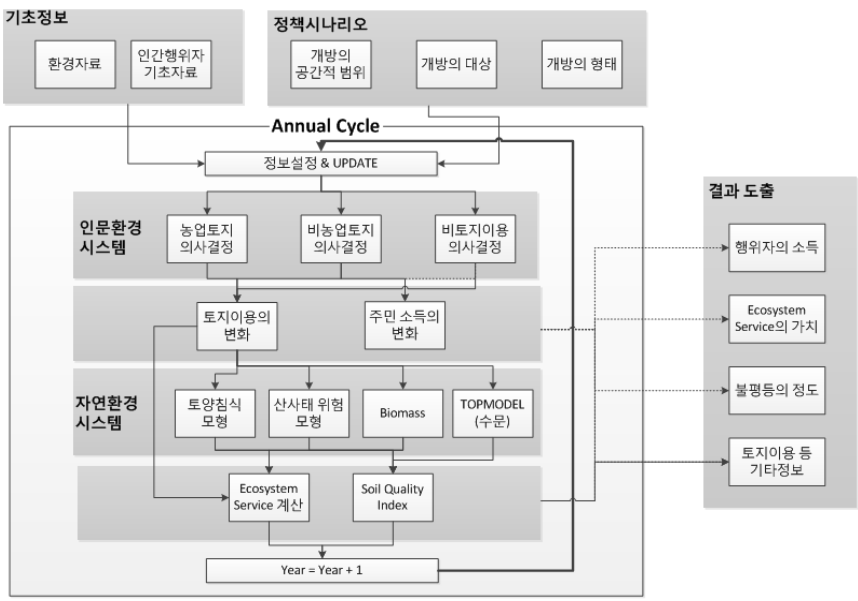
자료: 박천규 외(2020), p. 153.

박수진 외(2015b)는 환경정책 분야의 대표적인 ABM 활용 사례로, 환경생태 지역과 보호구역에 대한 효과적인 규제 및 관리정책을 대상으로 모의를 수행하였다. 이 연구는 가리왕산 주변의 6개 면에 임의의 산림 이용 행위자를 배치하고, 산림생태계를 환경요소로 배치하였다.[89] 정책 목표로 생태계서비스 가치의 극대화와 지역주민의 소득증대를 설정하였으며, 이와 관련된 산림정책 수립과정에서 발생하는 갈등과 대립의 동기인 산림 보존

89) 박수진 외(2015b)

과 개방에 집중하여, 산림 개방을 위한 공간적 범위·대상, 산림 개방의 형태에 대한 정책변화에 따른 산림생태계와 지역주민의 삶의 변화에 대해 분석하였다. 이를 통해 비교적 안전한 지형(낮은 경사도)을 가진 산림 지역을 지역주민을 대상으로 개방하며, 산림 이용 시 휴양 기능을 강조하면서 산림의 생태계서비스와 지역주민의 소득에 대한 경제적 이용을 포괄하는 정책이 가장 실효적인 시나리오라 판단하였다.

〈그림 3-10〉 국내 환경규제 및 관리정책 효과 모의 연구 사례



자료: 박수진 외(2015b), p. 262.

하기 연구는 가리왕산에 연접하여 있는 4개 리 지역으로 연구범위를 축소하고, 가구 단위로 행위자를 축소하여 연구를 진행하였다.[90] 먼저 허동숙 외(2016)은 지역주민이 선호하는 산림정책 변화상을 반영하였을 경우

90) 허동숙·안유순·박수진(2016); 안유순·허동숙·박수진(2017)

산림생태계와 지역의 변화 과정을 모의하였다. 결과적으로 지역주민의 의견을 적극적으로 반영하고, 산림 개방의 범위에 대한 산지 이용행위에 대한 규제는 대체로 산지의 경사도로 이루어지며, 경사도를 고려하여 산림 개방을 대체로 완화하는 방안을 최적 시나리오로 설정하였다. 안유순·허동숙·박수진(2017)은 환경적·경제적 지속가능성 확보를 위해서 지역주민과 중앙정부 중 어느 쪽을 국유림 거버넌스의 주체로 선정해야 하는지를 모의하였다. 그 결과 지역의 높은 생태적 효용을 보전하기 위해서는 정부가 중심이 되고 지역주민은 보조적인 역할을 수행하는 현재 체제와 유사한 국유림 관리체제가 생태적·경제적으로 최적의 거버넌스 체제임을 확인하였다.

교통 및 보건 분야는 타 분야보다 활발하게 정책 시뮬레이션의 개발 및 활용 방안 연구가 이루어졌으며, 이종호(2003) 및 박종민(2004)과 같이 육상 및 해상교통을 대상으로 교통 혼잡도에 미치는 외부요인이나 정책적 효과에 대한 시뮬레이션이 다수를 차지한다. 대표적으로 서울시 강남구를 사례로 강우 등 극한기후가 교통 시스템에 미치는 영향을 연구한 나유경·이승호·조창현(2012) 및 나유경(2014), 자율주행 기술과 개인용 이동 수단과 같은 신기술이 교통 혼잡도에 미치는 영향을 다룬 이종덕·박인선·황기연(2015), 근무시간 유연제와 재택근무제 등 외부요인이 근로자의 행태 및 교통수요에 미치는 영향을 분석한 조성진·조창현·최기주(2017) 등이 있다. 마지막으로 보건 분야에서 ABM은 주로 특정 질병의 전파 및 확산 예방과 위험 저감에 대한 정책 시뮬레이션에 활용되었다. 주요 사례로는 가축전염병(구제역)의 전파 및 확산 예방에 관한 연구와[91] 메르스 및 코로나바이러스감염증-19 전파확산 모의 연구[92] 등이 있다.

ABM을 활용하여 주거지재생사업의 효과를 평가한 국내 연구 사례와 같이, 이 절에서 살펴본 선행 연구 중 일부는 가상의 공간을 기반으로 두나

91) Ariuntsetseg·염재홍(2013); 신혜섭(2014)
92) 이종성(2021)

현실의 자료에 바탕을 두어 각 정책의 주택시장 파급효과를 잘 모사하였다는 강점이 있다. 이를 토대로 동일 모형을 다른 지역이나 자료에 활용함으로써 주거지재생정책의 정책적 효과를 확인하고 해당 정책의 의의를 도출하는 의사결정 지원시스템으로 적용될 수 있었다. 그러나 이후에는 후속 사업이 진행된 바는 없다. 보건 분야는 전반적으로 연구기관을 중심으로 한 연구보다는, 특정한 보건·사회적 현상에 관한 사후적 학술연구가 주를 이루었으며, 그중 상당 부분은 학위논문에 기반한 연구였다. 교통 및 보건 모두 정책 의사결정에 활용될 수 있을 것으로 여겨지나, 이를 목표로 한 연구는 적으며, 있더라도 정책 의사결정에 활용할 수 있는 수준의 연구는 드물다.

2. 해외 동향

선행 연구의 조사 범위를 국외로 확장하면 해양공간계획 지원을 위한 과학적 의사결정 지원 도구의 개발 및 활용에 있어 참고할 만한 방법론과 사례가 다양하게 존재한다. 이 절의 해외 동향에서는 국내 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 모형 개발에 있어서 참고할 만한 주요 사례를 중심으로 선별하여 방법론과 성과를 정리하였다.

가. 해양공간계획 지원을 위한 과학적 수단 현황

Pinarbasi et al.(2017)에 따르면, 해양공간을 구조화하기 위한 시도와 이를 지원할 수 있는 의사결정 지원 도구를 개발 및 활용하려는 시도는 1970년대로 거슬러 올라간다. 특히, 합리적이고 과학적인 근거를 토대로 해양환경 문제를 해결하고 해양보호구역을 설정하거나 자원 관리나 해양공간의 사회·경제 활동 및 이와 관련한 현안의 해결까지 다양한 목표를 달성하기 위해 의사결정 지원 도구가 개발된 바 있으며, 공간적 범위도 전 세계부터 대륙, 국가, 지역에 이르기까지 다양하다. 기술적으로도 공간 기반 도

구뿐 아니라, 시공간 도구 등 다양한 도구가 사용되었으며, 환경과학과 경제학, 사회학과 관련된 다양한 의사결정 도구들이 사용되었다. 의사결정 도구의 사용자는 대개 해양공간계획 의사결정자였지만, 과학자나 이용자, 대중, 비정부기구 등의 다른 이용자들도 있었다.

Depellegrin et al.(2021)은 개발기간, 참여자의 규모와 대상 해역의 스케일, 보편적 적용 가능성(유연성), 누적영향평가의 구현 여부 등 네 가지 기준을 적용하여 대표적인 해양공간계획 지원 도구를 선별하였다. 기준에 부합하는 지원 도구는 Mytilus, Tools4MSP, Symphony, Baltic Sea Impact Index(BSII), PlanWise4Blue, MSP Challenge 등 6개로, 이들을 대상으로 동 연구가 제시한 분석 결과를 도구별로 재정리하면 아래와 같다.

Mytilus(Hansen, 2019)은 덴마크 올보르크 대학교를 주축으로 개발한 발트해 대상 해양공간 의사결정 지원시스템이다. GIS 소프트웨어(ESRI ArcGIS)와 결합하여 해양공간계획 지원 시 사용편의성, 분석용량 및 고급 연산 등을 지원하는 다양한 수단을 제공하기 위해 무료 개방형 S/W로 개발되었다. 최초 개발은 북해를 대상으로 한 NorthSEE 프로젝트를 통해 이루어졌으며, 현재는 발트해의 Baltic Explorer Platform[93]와 연동하여 지속적으로 개발되고 있다.

Tools4MSP(Menegon et al., 2018b)는 이탈리아 국립연구위원회 산하 해양과학연구소가 개발한 해양공간 의사결정 지원시스템으로, 초기에는 아드리아-이오니아해역의 누적영향평가 및 상충분석 등 해양공간계획에 필요한 핵심적인 분석의 지원을 목적으로 개발되었다. 이후에는 이탈리아와 EU 전체규모의 사례연구에 적용되는 등 지속적으로 활용되고 있다.

Symphony(Hammar et al., 2020)는 스웨덴 수역해양관리기구가 관할 해역의 해양공간계획 관련 의사결정을 지원하기 위해 개발한 공간정보시스

93) Baltic Explorer(검색일: 2022.8.21.)

템이다. 기본적인 자료 저장 및 시각화 기능과 함께 환경 영향 평가 및 예방 조치를 위한 영역을 식별하는 업무를 지원하여 체계적인 공간계획 수립과 조기경보 신호의 측정을 수행하는 데 활용된다. 향후 스웨덴의 해양관리 분야에서 기후변화와 생태적 연결성을 분석하는 방안 등이 논의되고 있다.

BSII는 국제해양협력기구인 발트해 환경보호위원회가 발트해의 누적영향평가를 위해 개발한 지수이다. 다양한 유형의 자료를 자유롭게 조합하고 민감도 평가 등 세부적인 분석과정을 효율적으로 수행하기 위한 지원 도구로 BSII-CAT(Miloš & Bergström, 2020)가 개발된 바 있다. 또한 이 도구는 그린인프라[94]의 식별과 이에 해당하는 장소에 가해지는 인간 활동의 누적 영향을 정량적 평가 및 정책적 대응에도 활용할 수 있다.

Abspoel et al.(2021)의 MSP Challenge는 생태계의 먹이사슬 피드백과 같은 다양한 요소를 반영한 사회생태환경 시스템에 이해관계자 참여를 통해 수립한 시나리오별로 해양공간계획 이행 결과를 모의하는 시뮬레이션 모형이다. 네덜란드의 브레다 응용과학대학이 해양공간계획 수립을 지원하기 위해 개발하였으며, 공식 홈페이지(www.mspchallenge.info)를 통해 무료로 설치·활용할 수 있다.

마지막으로, PlanWise4Blue(검색일: 2022.9.3.)는 에스토니아의 국가 해양 공간계획을 위한 웹 기반의 의사결정 지원시스템이다. 해양공간계획 수립을 통한 경제적 이익의 극대화와 생태계 파괴 등 부작용의 최소화를 목표로 하며,여 다양한 시나리오들의 결과를 비교하여 적정한 관리 방안을 도출하는 데 활용할 수 있다. 이런 장점을 토대로 해양공간계획뿐만 아니라 환경보호 및 연안 관리 등 다양한 부문의 해양공간 의사결정 지원에도 적용할 수 있다.

94) Ruskule et al.(2019), p. 5 (해양생태계의 복원력을 보장하고, 인간 복지에 필수적인 다양한 해양생태계서비스를 제공하는데 필수적이며 생태적으로 중요한 지역(hot-spot)들의 공간적 연결망으로 정의)

〈표 3-4〉 해외 의사결정 지원시스템 개발 및 활용 사례: 개발 목적 및 주요 기능

명칭	기관	개발 목표	정책 활용	참고문헌
Mytilus	학계-덴마크 올보르 대학교 (Aalborg University)	• 생태계 기반 관리의 지원, • 계획 시나리오의 수립을 통한 의사결정 지원	• 누적 효과 평가(CEA), • 해양 이용자들의 경쟁과 관련된 공간적 갈등에 대한 접근 (MUC)	BONUS BASMATI (검색일: 2022.9.3.), Hansen(2019)
Tools4MSP	국책연구기관-이탈리아 국가연구위원회 산하 해양과학연구소 (CNR-ISMAR, Italy)	• 생태계 기반 관리의 지원, • 데이터 플랫폼을 통한 해양공간계획 지식의 축적	• 누적 효과 평가(CEA), • 해양 이용자들의 경쟁과 관련된 공간적 갈등에 대한 접근 (MUC)	Menegon et al.(2018a, 2018b), Farella et al. (2020), PORTODIMARE (검색일: 2022.9.3.)
Symphoney	국가기획조직-스웨덴 수역해양관리기구(Swedish Agency for Water and Marine Management)	• 국가 해양공간 계획의 수립	• 누적 효과 평가(CEA) • 서로 다른 계획안에 대한 평가	Hammar et al.(2020)
Baltic Sea Impact Index Assesment Tool(BSII CAT)	국제해양협력기구-발트해 환경보호위원회(HELCOM, Baltic Sea Environment Protection Commision)	• 생태계 기반 관리의 지원 • 국가적 차원의 해양공간계획 프로세스에 기여 • 데이터 플랫폼을 통한 해양공간계획 지식의 축적	• 누적 효과 평가(CEA)	Bergström et al.(2019)
PlanWise4 Blue	학계-타르투 대학 에스토니아 해양 연구소(Estonian Marine Institute, University of Tartu)	• 국가적 차원의 해양공간계획 프로세스에 기여	• 누적 효과 평가(CEA) • 서로 다른 계획안에 대한 평가	PlanWise4Blue (검색일: 2022.9.23.), Kotta et al.(2020)
MSP Challenge	학계-네덜란드 브레다 응용과학대학(Breda University of Applied Science)	• 생태계 기반 관리의 지원 • 국가적 차원의 해양공간계획 프로세스에 기여 • 계획 시나리오의 수립을 통한 의사결정 지원	• 누적 효과 평가(CEA)	MSP-Challenge (검색일: 2022.6.20.), Steenbeek et al.(2020), Abspoel et al.(2021)

자료: 저자 작성

〈표 3-5〉 해외 의사결정 지원시스템 개발 및 활용 사례: 방법론 및 활용

명칭	구동환경	사용환경(기능)	입력자료	활용 목적 및 역할	이해관계자 참여	활용 결과물
Mytilus	PC	• 공간분석 및 결과 시각화	공간정보, 사례연구 및 국제기구 배포 자료	• 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측 • 이해관계자 참여도 평가	워크샵, 교육	지도와 데이터 서비스
Tools4MSP	Web	• 공간정보 탐색 • 공간정보 수집 및 공유	공간정보, 사례연구 및 국제기구 배포 자료	• 계획의 이행 평가 • 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측	워크샵, 교육	보고서, 공간정보
Symphoney	Web	• 공간정보 탐색	공간정보, 국가 법정조사 자료	• 계획의 이행 평가 • 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측	직접적으로 참여하지 않음	보고서, 공간정보
Baltic Sea Impact Index Assesment Tool(BSII CAT)	PC	• 공간정보 탐색 • 공간정보 수집 및 공유 • 공간분석 및 결과 시각화	공간정보, 사례연구 및 국제기구 배포 자료	• 계획의 이행 평가 • 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측 • 이해관계자 참여도 평가	워크샵	지도와 데이터 서비스
PlanWise4 Blue	Web	• 공간분석 및 결과 시각화	공간정보, 국가 법정조사 자료, 사례연구 자료	• 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측	기획자와 공동 개발	지도와 데이터 서비스
MSP Challenge	PC	• 공간정보 탐색 • 공간정보 수집 및 공유 • 해양공간계획 시나리오 제안, 계획 수립 및 협업(토의)	공간정보, 사례연구 및 국제기구 배포 자료	• 계획의 이행 평가 • 현재 상태 평가 및 미래 상태 예측 • 이해관계자 참여도 평가	교육, 기획자와 공동 개발	게임 토론 및 결과 반영

자료: 저자 작성

Depellegrin et al.(2021)은 대표적인 해양공간계획 의사결정 지원모형 여섯 개를 선정하여 비교하였는데, 이를 각각 개발 목적 및 주요 기능과 방법론·활용 측면에서 비교하면 다음과 같다. 개발 목적 및 주요 기능 측면에서 해양공간계획 의사결정 지원모형은 국가 단위의 해양공간계획 수립(Symphoney, PlanWise4Blue)과 초국경적 범위의 해양공간 및 생태계 관리(Mytilus, Tools4MSP, BSII-CAT, MSP Challenge) 지원으로 구분할 수 있으며, 큰 틀에서는 유사하나 국가 단위에서 활용된 지원 도구는 주로 다양한 이해관계자가 참여하며, 초국경적 범위에서 활용된 사례의 경우 다양한 이해관계자의 공간적 갈등과 상충에 대한 분석을 중점적으로 다룬다는 점에서 차이가 있다.

방법론적으로 지원 도구는 구동 환경이 폐쇄적인 PC 환경과 개방형 웹 기반 환경으로 양분된다. 폐쇄적인 PC 환경은 주로 공간분석 등 실무를 담당하는 전문가용 도구이며, 개방적인 웹 기반 환경은 이해관계자나 의사결정자 등 비전문가의 참여를 확대한 경우가 많고 사용환경(GUI)은 대부분 유사하다. 활용 관련 특성은 해양공간 계획 시 모형의 활용 목적 및 역할, 이해관계자 참여 형태, 활용 결과물 등에 따라 구분할 수 있다. 모든 지원 도구는 현재의 상태에 대한 평가와 미래의 변화를 예측하는 데 활용할 수 있으나, 일부 사례는 해양공간계획의 이행 평가에 활용하기엔 제약이 있다. 또한, Mytilus와 BSII-CAT 및 MSP Challenge는 이해관계자의 참여 정도에 대한 평가에도 활용할 수 있어 여타 지원 도구와 비교해 활용도가 높을 것으로 판단된다.

나. 해양정책 의사결정 지원 도구로써 행위자기반모형 적용사례

국내 사례에서 ABM의 정책적 활용은 주로 주택·도시·환경에서 논의된 바 있으나, 해양 분야의 사례는 제한적이다. 조사의 공간적 범위를 확장하면 현실 공간에서 복잡한 양상으로 발생하는 환경과 행위자 및 다양한 행위자

간의 상호작용을 시뮬레이션에 반영할 수 있다는 장점에 착안하여, 해양정책에 대한 의사결정 지원 도구로서 ABM을 개발 및 활용한 사례가 다수 존재하며 이를 활용하여 해양정책 의사결정 지원 도구를 개발하려는 시도도 일부 이루어진 바 있다. 그러나 광범위한 공간에서 복잡다단하게 발생하는 현상들을 신뢰할 수 있는 수준으로 모사하는 것은 어려움이 크기 때문에, ABM을 이용한 해양정책 의사결정 지원 도구는 대체로 국가 범위보다는 작은 지역 또는 장소 수준의 공간적 범위를 대상으로 개발되었다. 내용상으로 환경생태계와 관련한 정책 의사결정 지원에 초점을 맞춘 사례가 많으며, 사회경제 분야에서는 어업과 관련한 모형이 많은 부분을 차지한다.

참고할 만한 해양정책 의사결정 지원 도구로 대표적인 것은 SimReef·CORSET(Melbourne-Thomas et al., 2011), 아비새(Red-throated diver)에 대한 해상풍력발전단지의 누적영향평가 모형(Topping & Petersen, 2011), MarPEM(Maritime fuel system and agent-based model, Bailey et al., 2019; Burgess et al., 2020; Lindkvist et al., 2020) 등이 있다. 이중 MarPEM은 해양물류와 에너지 분야에 집중하였으나, 여타 모형들은 주로 해양생태계의 보전과 생태자원의 활용 방안에 초점을 맞추었다. 구체적으로 SimReef와 POSEIDON 은 주로 어업과 해양생태계 사이의 상호작용에서의 정책적 대안 마련에, 그리고 아비새(Red-Throat Diver)는 풍력발전과 해양생태계 사이의 관계에 바탕을 둔 정책적 대안 마련에 집중하였다. 각 지원 도구의 연구기관, 개발기간, 목표 및 정책 활용은 다음과 같다.

〈표 3-6〉 해외 공간계획 적용 사례: 목표와 정책적 활용, 관련 연구 및 보고서

명칭	기관	기간	개발 목표	정책 활용	참고문헌
SimReef & CORSET	지구환경기금(GEF)	2004-2009	사회-생태 통합 모델링을 통해 생태적 가치가 높은 산호초 해안의 보존을 위한 의사결정 지원시스템 개발	• 멕시코 동부 해안 일대뿐 아니라 필리핀 연해 등 많은 산호초 해안에 적용 시도 • 시나리오의 구체성이 부족하며, 정책적 목적으로 수행되었지만, 활용도가 저조한 점이 한계(후속 연구 없음)	Melbourne-Thomas et al. (2011)
Red-throated diver agent-based model to assess the cumulative impact from offshore wind farms	오르후스 대학 (Aarhus University) 덴마크 환경에너지 센터	2011	해상풍력 건설이 조류 생태에 미치는 영향을 파악하고, 생태환경 악화를 최소화하는 의사결정 지원시스템의 개발	• 스케일에 따른 정책차이 확인: 덴마크만의 풍력발전 계획은 생태계 영향이 비교적 적지만, 발트해 전 국가로 확대 시 파급효과 확대 우려 • 해상풍력발전 계획 시 생태계 보호 전략을 수립하기 위해 초국가적 스케일로 접근 필요 • 해안풍력단지 외에도 다른 요소를 고려하고, 수정 보완 필요성을 제시하였으나, 후속 사업의 추진 여부 불확실	Topping & Petersen (2011)
MarPEM	네덜란드 델프트대학 (Delft University), 유럽 지속가능공정 연구소	2017	ABM으로 LNG 공급 시스템을 구축하고 시나리오 모의를 통해 사회환경변화에 따른 반응을 파악	• 에너지 공급 수단으로서 해양의 경제적 기능을 확인할 수 있는 정책 의사결정 모형 • 가상 네트워크 형태로 현실을 축소하였는데, 지리정보 형태로 변환 시 타 요소들과 혼합 적용이 가능할 것으로 기대	Bas et al.(2017)
POSEIDON	옥스포드 대학교, Ocean Conservancy 등	2017-진행 중	연근해 어업에 대한 사회생태적 파급효과와 상호작용을 모사하여, 한정된 어족자원과 어업인 소득에 관한 정책적 파급효과를 구현	• 생태환경 및 시장의 복잡성을 잘 모사한 모형이며 타 모형 대비 모순된 정책 목표에 대한 평가에 탁월 • 학술연구 및 비정부기구를 중심으로 추진 중이나, 정책 의사결정 모형으로서의 잠재력이 큼 • 어업 외 여타 해양 분야의 범용성 확대 필요	Bailey et al. (2019), Burgess et al. (2020), Lindkvist et al. (2020)

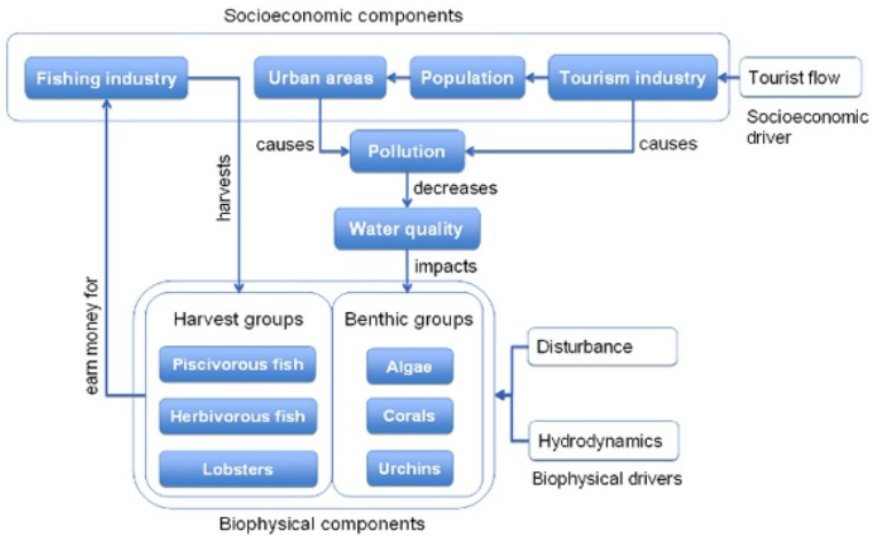
자료: 저자 작성

SimReef는 지구환경기금(GEF: Global Environment Facility)이 2004년부터 2009년까지 수행한 '산호초 관리를 위한 연구와 역량 강화(Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management)' 프로젝트의 여섯 가지 연구 및 역량 강화 분과 중 '모형화와 의사결정 지원(Modeling and Decision Support)' 분과의 성과물이다. SimReef는 주로 멕시코 남동부, 벨리즈, 온두라스에 소재한 킨타나로 지방(Quintana Roo)의 산호초 해안을 중심으로 개발 및 활용한 ABM이다. 이 모형의 주요 구성요소는 어업과 관광산업을 중심으로 산 사회생태적 요소(사회생태 행위자), 어족자원의 먹이사슬을 중심으로 이루어지는 생태환경 요소(생태환경 행위자)가 있으며, 이들 사이의 상호작용을 토대로 모형이 구성된다.

초기 단계의 SimReef는 현실을 다소 추상적인 형태로 모형을 구축하였으나, 이후 Melborne-Thomas et al.(2011)은 초기 모형보다 구체적인 형태로 개발하였으며, 이를 별도의 CORSET 모형으로 구분하기도 한다. 행위자의 행동 규칙은 경험식에 기반을 두었으나, 프로젝트에서는 역할 수행 게임(Role-Playing Game)을 바탕으로 한 참여관찰로 행동 규칙의 보완을 도모하였다.[95] 킨타나로 지방의 정책 시나리오로서 어족자원의 급격한 붕괴와 점진적 붕괴 시나리오, 그리고 관광객 증가 시나리오가 분석되었다. 결과로 몇 개의 시나리오 모의 결과가 도출되었으나, 그 내용은 분명하지 않다. 연구보고서 및 결과물은 대부분 ABM의 구축과 시험 모의, 보정과 검증 부분에 분량을 할애하였으며, 이후 멕시코뿐 아니라 필리핀 등 유사한 생태적 조건을 가진 다른 지역에 적용해 본다는 계획만 언급되어 있을 뿐 추가적인 후속 연구 사례는 찾기 어렵다는 한계가 있다. 또한 모형 개발에 활용한 프로그래밍 도구(UML, Python)가 여타 사례와 상이하여 다른 ABM 연구자가 규칙을 활용하는 데 제약을 준다.

95) Cleland et al.(2010), p. 124.

〈그림 3-11〉 SimReef의 해양의 사회환경 및 자연환경 구성요소와 상호작용



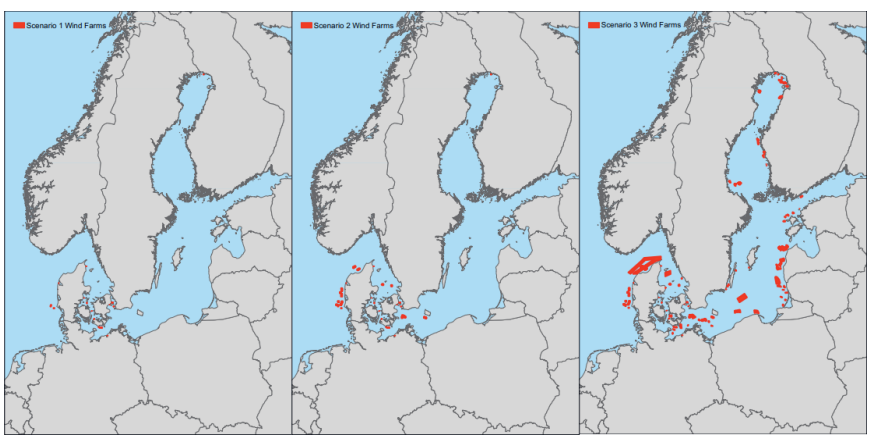
자료: Melbourne-Thomas et al.(2011), p. 9.

해상풍력의 아비새 영향 모형은 오르후스 대학 부설 덴마크 환경에너지 센터가 덴마크 정부의 에너지청과 자연청의 의뢰를 받아 해상풍력발전단지 건설이 해양생태, 특히 조류(鳥類)에 미치는 영향을 파악하기 위해 개발하였다.[96] 최근 재생에너지 수요의 증가로 인해 해상풍력발전단지 건설이 해양생태계에 미치는 영향에 대한 우려가 확산함에 따라 연구 사례와 모형 또한 주목받고 있다. 이 연구의 공간적 범위는 덴마크를 중심으로 한 발트해 전역과 북해 일부 해역으로, 해당 해역에 서식하는 아비새를 행위자로 설정하였다. 아비새의 생태적 조건을 모사하여 행위자는 수온과 수심, 개체들의 밀도에 따라 계절적으로 이동하도록 설계되었고, 계절에 따른 시계열 변화를 모의하였다. 모의 결과는 아비새의 개체 수를 포함하여 16여 개의 지표로 구성한 생태적 영향이며, 정책 시나리오는 연구가 진행된 2010년

96) Topping & Petersen(2011). pp. 27-29.

을 중심으로 현재까지의 해상풍력단지 계획과 실행 시나리오, 덴마크 에너지청이 발표한 전체 덴마크 해상풍력단지 계획 및 발트해 전역의 해상풍력단지 계획 등으로 구성하였다. 연구 결과를 요약하면, 현재까지 계획-실행된 해상풍력단지와 앞으로 덴마크에서 계획하고 있는 해상풍력단지만 고려하는 경우 아비새의 개체 수 등 생태적 변화는 크지 않지만, 발트해 전역의 해상풍력단지 계획으로 확대하는 경우 아비새의 개체 수가 상당 수준 하락하는 것으로 나타났다. 이는 단일 국가 규모의 계획으로는 해상풍력단지가 생태계에 미치는 영향을 포괄적으로 평가하는 데 제약이 있으며, 이보다 큰 초국가적 규모의 검토 필요성을 시사하는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 해상풍력단지 외 다른 계획이나 아비새 외의 다른 조류나 다른 생태 지표에 관한 연구가 확대되어야 함에도 후속 과제가 진행되지 않았던 부분은 한계점으로 지적된다. 또한 모형을 범용 프로그래밍 언어(C++)로 구축하였고 세부 구조를 명확히 기술하지 않아, 유사 연구를 추진하고자 하는 후속 연구자나 기관이 참고하기 어렵다는 것도 아쉬운 점이다.

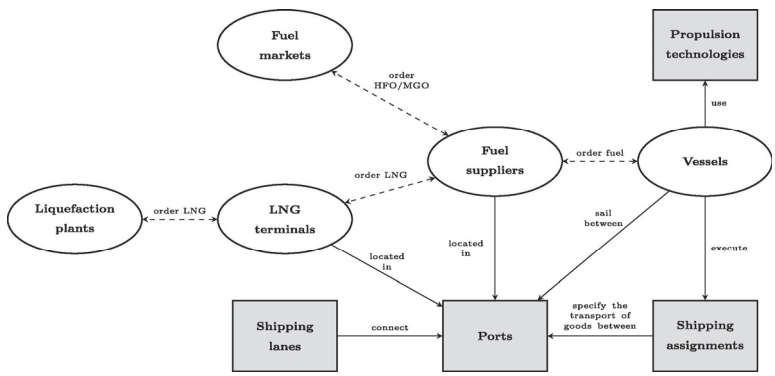
〈그림 3-12〉 해상풍력-아비새 모형의 아비새 이동 패턴 모의 사례



자료: Topping & Petersen(2011), pp. 27-29.

MarPEM모형은 네덜란드의 델프트대학과 유럽 지속가능공정연구원(Institute for Sustainable Process Technology)이 개발한 것으로, ABM을 활용하여 액화천연가스(LNG) 공급체계를 구축하고 다양한 시나리오를 구성하여 사회환경 변화가 공급체계에 미치는 영향을 모의하는 정책 의사결정 시스템 시범 연구에 활용되었다.[97] 이 연구는 현실의 지리적 조건을 연결망 형태로 구현하였으며, 지리적 근접성과 중요성 등에 따라 네덜란드와 유럽의 주요 항구는 개별적으로, 북미·아시아 등은 집합적으로 표현하였다. LNG 운반선과 연료 공급자, 집화 터미널, 생산공장 등을 주요 행위자로 설정하였으며, 항구, 항로, 운항선, 추진 기술 등은 환경 또는 행위자들의 주요 속성 정보로 구현하였다. 또한, 유럽을 중심으로 선박의 배출 규제 시행과 항구별 LNG 가용성 및 선박 개조 인허가 정책 등 시나리오에 따른 미래 시점의 전 세계 해양 LNG 공급시스템의 변화를 모의하였다. 모의 결과, 정책환경의 변화가 LNG 공급시스템에 활용되는 선박의 변동성에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다. 이 연구는 ABM 연구자들이 주로 사용하는 오픈소스 기반 도구인 NetLogo에 기반하고, 대부분의 소스코드를 공개하였다는 강점이 있다.

〈그림 3-13〉 MarPEM 모형의 구조



자료: Bas et al.(2017), p. 166.

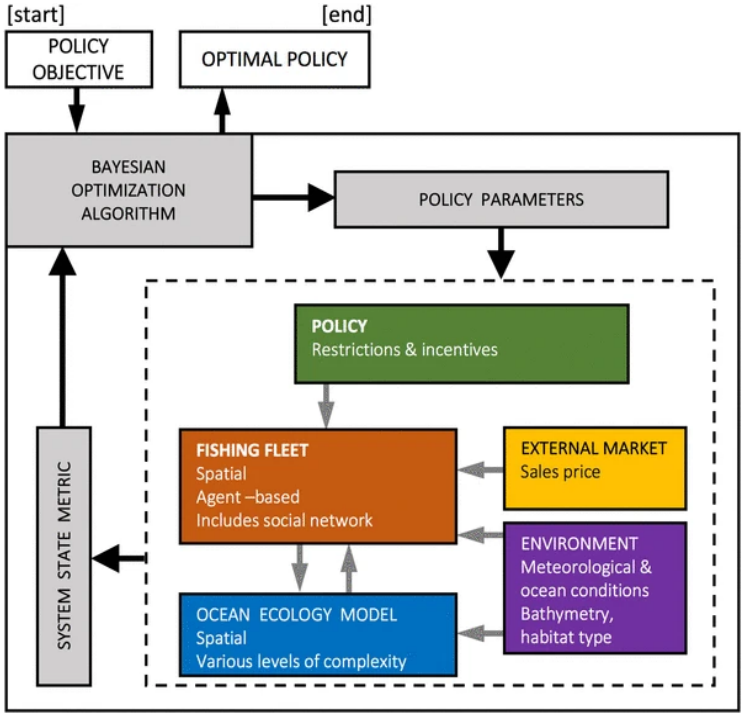
97) Bas et al. (2017), p. 173.

POSEIDON모형은 영국 옥스퍼드 대학교가 학술연구 목적으로 ABM을 활용하여 어업과 해양생태계의 상호작용을 모의한 연구로 시작되었으며, 이를 토대로 다수의 후속 연구가 수행되었다.[98] 이 모형은 개발 배경과 목표 등이 SimReef와 유사하나, 어업 부문에 특화되어 어업인의 의사결정 구조와 해양의 생태계 구조를 구체적인 형태로 구축했다는 장점이 있다. 현재 고도화 사업을 통해 어업인 등 주요 행위자의 의사결정 및 해양생태계 구조를 개선하고 있으며, 가상의 해안을 바탕으로 한 이론모형을 토대로 미국 캘리포니아 LA 근해를 구현하는 등 실증모형으로의 전환을 추진하고 있다. 행위자는 어선과 어선에 탑승하는 선장 및 어업인, 어선이 정박하는 항구, 어업인의 사회연결망으로 구성되며 연결망과 수산시장의 거래를 통해 상호작용한다. 환경은 격자별 바이오메스(Biomass), 즉 수산자원의 양이 주가 되며, 이들의 속도나 성장률 등의 부수적인 속성정보가 구성되어 있다.

정책 시나리오는 연구마다 다양하게 설정하였다. 그 중 대표적인 연구인 Bailey et al.(2019)의 정책 시나리오를 예를 들면, 어업 할당량의 거래 가능 여부와 최적화된 해양보호구역 배치 방안, 그리고 이들의 상호작용 정책효과(hybrid policies)로 설계되어 있다. 다만 현재까지 구체적인 정책 시나리오의 결과를 도출하는 수준에는 도달하지 못하였으며, 한정된 수산자원과 어업인의 소득 등을 구체적으로 모사하기 위해 다양한 검증 및 보정 작업에 초점을 맞추고 있다. 따라서 모형이 완성될 경우, 공유자원이자 총량이 제한된 수산자원의 특성에 맞는 관리 방안을 도출하는 등 정책 의사결정 지원에 핵심적인 역할을 기대한다. 그 외에도 향후 기존에 구현한 수산자원 관리 분야에서 확대하여 해양보호구역 지정과 같은 생태계 보전이나 해양공간계획 등 유관 분야의 해양정책 지원에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

98) Bailey et al.(2019); Burgess et al.(2020); Lindkvist et al.(2020)

〈그림 3-14〉 POSEIDON 모형의 구조



자료: Bailey et al.(2019), p. 261.

제3절 해양공간계획 지원을 위한 시사점

1. 시뮬레이션의 구축 및 활용방안

국내의 해양정책 관련 시뮬레이션 개발 및 활용 사례는 국외 사례와 달리 공간적 구조화가 결여된 거시적인 개념적 모형이 다수를 차지한다. 이는 앞서 지적한 바와 같이 해양공간의 사회·정책적 의사결정에 있어 공간적 구조화에 대한 수요가 미비했던 것이 원인이다. 그러나 국내 사례에서 다룬 해양 안전, 수산, 항만, 연안 관리 및 해양 인프라 등의 해양수산정책을 보다 합리적으로 수립하고 관할 해역을 더욱 계획적으로 관리하기 위해서는 해양공간에 대한 종합적인 이해가 필수적이며, 이는 시뮬레이션을 개발 및 활용함에 있어서 공간적 구조화의 필요성이 높다는 것을 의미한다. 예를 들어 연안 관리 시뮬레이션의 경우, 해안선 변화와 모래 유출 및 유입은 대상 해역뿐만 아니라 주변 지역의 해안구조물, 해류, 기후 등 다양한 공간적 요인에 영향을 받는다. 이러한 요소들을 비공간적 요소로 모의할 수도 있지만, 시뮬레이션의 활용 목적을 고려할 때 공간적 요소로 반영하는 것이 더욱더 합리적이다.

선행 연구를 국외 및 육상지역으로 확장하면 다양한 분야에서 참고할 만한 개발 및 활용 사례를 찾을 수 있다. 그러나 선행 연구가 제시한 시뮬레이션 모형들을 국내 해양공간계획에 활용하는 것은 다양한 측면에서 제약이 있다. 기존 모형의 해양공간계획 적용 가능성을 검토한 연구에 따르면,[99] 모형을 개발한 대상 범위가 육상에 해당하면 소유권과 같은 공간관리 법·제도의 차이로 인해 해양에 적용하기 어렵다. 선행 연구의 대다수가 환경문제와 같은 일부 현안을 해결하거나, 특정 목표를 달성하는 수단으로

99) Pinarbasi et al.(2017); Janben, Goke, & Luttmann(2019); Depellegrin et al.(2021)

서 개발한 것이기 때문에 시공간 및 내용적 범용성이 부족하다는 점도 제약요인이다. 또한 공간적 요소를 반영한 시뮬레이션 모형은 대부분 지리정보시스템을 다루는데 익숙한 전문가에게 익숙한 형태로 개발되었기 때문에 비전문가가 이해하고 활용하기에 복잡하고 불편한 점도 개선이 필요하다. 이와 더불어 전문성이 높은 모형일수록 개발에 많은 시간과 비용이 필요하며, 자료와 방법론을 변경하기도 어려우므로 활용성에 제한이 많다. 모형 개발 후에도 유지관리 및 개선을 위해 지속적인 예산과 인력의 확보 방안을 마련해야 한다는 점도 난관으로 꼽을 수 있다.

상기한 사항을 종합해보면, 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기반의 의사결정 지원 도구는 첫째, 다양한 공간적 속성을 반영하여야 하며, 특히 신뢰도 제고를 위해서 공간적 요소 간 상호작용과 되먹임 작용을 반영할 필요가 있다. 둘째, 시뮬레이션의 개발 목적인 정책 의사결정 지원에 효과적으로 활용할 수 있도록 환경생태계와 사회경제적 요소를 통합한 형태로 구축하여 미래 예측과 시나리오 모의, 모니터링 등 다양한 목적에 부합할 수 있도록 설계하여야 한다. 이를 위해 우선 다양한 공간 규모에서 의사결정자, 실무자, 과학자들 간의 경험을 교환하고 다양한 사례를 참고해야 한다. 셋째, 복잡성과 불확실성의 문제를 해결해야 한다. 이를 위해서는 해양환경에서 벌어지는 일에 대한 다양한 프로세스에 대해서 데이터 기반의 연구 수행이 함께 이루어져야 하며, 복잡성과 불확실성 문제를 해결하는데 적절한 방법론을 중심으로 시뮬레이션을 개발해야 한다. 이러한 측면에서 이 장의 1절에서 중점적으로 검토한 ABM은 여타 방법론과 비교해 긍정적으로 평가할 수 있다. 마지막으로 시뮬레이션의 지속적인 유지관리를 위해 경제적·기술적 기반을 구축할 필요가 있다. 이는 다른 국내외의 사례처럼 집행기관과 예산이 확보되지 않은 다양한 시뮬레이션들이 일회성 또는 단기적인 활용 후 폐기되는 것을 방지하기 위함이다.

2. 행위자기반모형의 적절성

해양공간계획의 수립 및 이행지원을 목표로 시뮬레이션 모형을 개발할 때 중점적으로 검토가 필요한 사항은 시뮬레이션 기법을 활용하는 목적과 연관성이 높다. 해양공간정책을 효과적으로 수립하고 이행하는 데 도움을 줄 수 있는 다양한 방법론 가운데 시뮬레이션 기법이 효과적인 분야는 개별 정책과 의사결정이 미치는 다양한 파급효과를 예측하고, 이를 반영하여 적정한 의사결정을 유도하는 데 있다. 따라서 시뮬레이션 모형 개발 시 중점적으로 고려할 사항은 해양공간에 대한 정책 의사결정이 이루어지는 과정과 그 결과가 미치는 파급효과를 현실적으로 모의하는 것이라 할 수 있다.

이 장의 1절에서 다룬 바와 같이 현실 세계는 공간적으로 균질하지 않고 자연현상과 이용·개발 행위 등 환경·생태계적으로나 사회경제적으로 이질성이 큰 공간들의 군집으로 이루어져 있다. 따라서 최근 공간계획 시뮬레이션 분야는 전통적인 비공간 모형을 통한 거시적 접근이 아닌, 공간모형을 통해 용도구역 설정에 따른 이용·개발 행위의 변화와 같이 계획 수립과 이행에 따라 발생하는 개별 현상을 효과적으로 모의할 수 있는 미시적 접근에 주목하고 있다. 그리고 정책 의사결정에 따른 단기적 충격 외에도 중·장기적 파급효과를 현실적으로 반영하기 위해, 시계열에 따른 시스템의 변화를 모의하고 그 변화가 다시 개별 현상에 영향을 주는 되먹임 구조를 통해 동적 시스템을 구축하고 있다. 특히 공간모형의 도입을 통해 시스템 내 단위 공간별 거동에 대한 모의가 용이해지고, 해양공간이 공유재인 국내 여건상 정책의 수립과 이행에 있어 다양한 이해관계자의 참여와 의견수렴의 중요성이 높아짐에 따라 상향식 접근법의 활용 또한 증가하고 있다.

상기한 특성들을 고려할 때 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 구축 시 고려할만한 주요 방법론은 공간모형과 결합한 SD 모형과 CA 모형, 그리고 ABM 등이 있다. 전술한 모형들의 특성은 이 장의 1절에서 비교한 바

있으나, 해양공간계획 지원에 있어서 특기할만한 사항은 주로 정책 의사결정의 파급효과가 환경·생태계에 직접적으로 작용하기보다는 이해관계자의 행태에 변화를 야기하고, 이에 따른 영향이 간접적으로 작용하는 연결 구조로 나타나며, 정책에 대한 이해관계자의 반응이 획일적이고 결정적이기보다는 다양하고 확률적이라는 점이다. SD와 CA 모형의 시스템은 매개변수의 변동이 격자, 즉 환경에 직접적으로 영향을 미치는 방식으로 작동하며, 특히 SD 모형은 구성요소 간의 상호작용이 인과 사슬로 얽힌 결정론적 시스템을 구축하는 데 효과적이다. 따라서 전술한 해양공간계획 관련 특이사항과 시뮬레이션의 활용 목적 등을 고려할 때, 비교적 적합성이 높은 방법론은 ABM으로 판단된다. 이는 ABM이 격자와 행위자를 모두 포함한 시스템을 구축함으로써 정책 결정이 이해관계자를 거쳐 환경·생태계에 미치는 영향을 모의하는 데 탁월하며, 행위자별로 상이하고 준확률적인 거동을 모의할 수 있기 때문이다.

3. 행위자기반모형 선행사례 검토 및 시사점 도출

ABM은 현실 공간에서 발생하는 복잡성과 불확실성을 효과적으로 반영할 수 있어 여타 방법론과 비교해 시뮬레이션을 개발 및 활용 분야에서 우선하여 고려할 만하다. 선행 연구가 제시한 시뮬레이션의 활용 가능성을 효율적으로 검토하기 위한 목표, 방법론, 대상 범위, 고려 요소 등 검토해야 할 사항을 기록한 목록을 제작하고 모형의 장단점을 비판적으로 검토하여 반영하거나 개선이 필요한 사항을 적절하게 파악할 필요가 있다.

국내 ABM 개발 사례에서 두드러지는 한계점은 다수의 연구가 일회성으로 수행되었고, 지속해서 유지·관리되지 않았다는 점이다. 이는 김동한 외(2014)에서 지적한 바와 같이 연구자 및 기술자 중심의 시뮬레이션으로 정

책 의사결정자가 쉽게 이해할 수 있는 인터페이스 구축 등이 미흡했다는 측면이 크다고 볼 수 있다. 또한 전성제 외(2013, 2014)와 변세일 외(2015)는 3년여간에 걸쳐 연구를 진행하였으나, 가상의 공간을 대상으로 한 이론적 모형, 즉 '사회적 실험실(Social Laboratory)' 형태의 연구였기 때문에 어떤 지역에 어떤 현상이 발생하는지에 대한 직접적인 공간 의사결정 모형으로 기능하지 않는다. 이 때문에 정책 의사결정자가 직관적으로 정책의 효과를 이해하기 어렵다는 한계를 가진다. 박수진 외(2011~2015a)의 연구는 비교적 장기간 연구가 진행되었고, 현실의 공간을 반영한 모형의 구축 및 모의를 수행하였다. 그러나 시나리오별 시뮬레이션 결과의 차이가 크지 않았고, 결과적으로 정책 의사결정자에게 보이는 시나리오별 시뮬레이션 결과 간 차이가 분명하게 드러나지 않았다. 이는 연구 수행 지역의 인구밀도가 낮고 변화가 적은 산촌이기 때문에 나타난 결과라 추정할 수 있다. 또는 정책연구자들이 원하는 정책의 시공간적 규모와 연구 방법 및 도구가 가지고 있는 규모 특성이 맞지 않아 생기는 문제일 수 있으므로 미시적 규모로 관찰하거나, 장기관찰 또는 이에 기반한 장기간의 시뮬레이션이 필요할 것으로 보인다.

따라서 ABM을 활용하여 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션을 구축하는 데 우선 검토해야 할 사항은 정책 의사결정 지원 도구의 개발이 단발성 또는 단기적으로 활용하는 연구를 넘어서 지속적인 유지관리를 통해 진화해나갈 수 있는 기반을 구축하는 것이다. 또한, 시뮬레이션의 활용이 정책적 측면에서 명확하고 구체적인 시사점을 제공할 수 있도록 현실적으로 활용 가능한 수준으로 목표를 설정해야 한다. 이를 위해 의사결정자가 시뮬레이션 활용의 필요성을 공감할 수 있도록 법·제도적 측면의 노력을 동반해야 한다. 의사결정자가 인정할 수 있는 수준의 신뢰도를 확보하기 위해서, ABM 기반 공간 의사결정 시뮬레이션은 장기간의 자료조사를 바탕으로 다양한 시행착오를 거쳐 구축할 필요가 있다. 구체적으로 모형 구축의

기술과 설계 측면에서는 해양공간계획의 특성에 맞는 다양한 검토가 필요하다. 국내 연구는 주로 무료로 활용할 수 있는 S/W인 NetLogo를 사용하여 정책 의사결정자와 일반인의 접근성을 높이고자 하였으나, 기능적 한계로 인해 복잡하고 광범위한 범위를 담을 수 있는 모형을 설계하는 데 제약이 있었다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 김동한 외(2014) 등 일부 사례는 전문성이 높은 S/W를 활용하기도 하였다. 그러나 이 또한 잠재적 사용자의 접근성을 높이기 위한 별도의 노력이 필요하므로, ABM을 효율적으로 설계하고 운용하기 위한 별도의 기술 개발 또는 기존 S/W에 대한 폭넓은 조사가 필요할 것으로 판단된다.

다음 사례 비교에서 제시한 모형의 규모 또한 해양공간계획에 검토할 만한 부분이 다수 존재한다. 실증모형을 적용한 ABM의 규모는 한 개 광역권을 초과하지 않으며, 서울특별시, 부산광역시, 1~2개의 군 정도의 크기다. 이보다 커지면 공간적인 속성을 표현하기가 어려워지기 때문에 현실을 추상화한 이론적 모형으로 구현방식을 바꾸거나, ABM이 아닌 다른 모형(SD 등)으로 전환하는 경우가 있다. 따라서 해양공간계획의 효과를 위한 정책 시뮬레이션 구축에는 전국 단위나 도(道) 크기보다는 작은 규모로 모형의 외부 규모를 정할 필요가 있다. 다만, 해양은 지상 공간보다 인간의 활동이나 행동의 밀도가 높지 않다는 측면에서 다소 저해상도로 규모를 키우는 것 또한 검토해 볼 수 있다.

〈표 3-7〉 국내 공간계획 적용 사례: 모형 구축 자료와 방법, 모의 결과 및 활용

명칭	모형 구축 자료 및 방법					모의 결과 및 활용	
	공간 규모	행위자	환경	단위	정책시나리오	결과 지표	활용
행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용방안 연구	부산권역 (부산시, 경상남도 김해시, 양산시, 1,716㎢)	개발자와 개별산업체, 행정구역별 통계모형에 맞게 배치 확률적 효용이론에 기반한 의사결정	래스터 격자, 개발행위를 결정하는 다수의 레이어로 구성됨 자연환경: 표고, 경사 등 건조환경: 기개발지, 도로망 등 사회경제적환경: 인구, 지가 등 제도환경: 토지이용, 용도지역 등 공간밀도: 인구밀도, 개발밀도 등	1년	기준 시나리오: 현 추세 연장 시나리오 정책 시나리오: 충진 개발 및 고밀개발(부산)과 새로운 산업단지의 조성(김해,양산)	공간변화 정도 파악할 수 있는 지표, 토지 특성 지표, 밀도지표, 복합 이용 지표, 인구밀도 등	
부동산시장 여건 변화에 대응한 주거지재생 효과분석 시스템 구축(I-III)	가상의 공간이나 현실의 자료를 반영	가구(이주 단위), 행위자의 조건(소득, 재산)에 따라 이주-재정착에 대한 프로세스 결정	래스터 격자, 각 격자는 주택으로 설정, 속성변수는 주택 가격, 주거비(임대료), 주거지재생사업 대상 지역, 건축 연도 등	1 개월	전면 개발 방식 수복방식	재정착률로 도출	
주택구매소비자 의사결정 구조를 반영한 주택시장 분석 체계 구축	서울 (605㎢)	세대주, 거주하는 자치구와 기타 인적정보가 설정되며, 일정 비율의 매도자와 매수자로 구분, 수요에 따라 탄력적 의사결정	벡터 구조, 서울의 25개 자치구		기초 시나리오: 강남 4구 외 가격 유지 부동산금융 시나리오: 금리 인상, LTV 강화	매매가, 누적거래량, 실공급-실수요 비율, 가격조정 비율 등	
다행위자시스템을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(1-5)	가리왕산 일대 6개 면 (1,168㎢) → 4개 리 (137㎢)	리(행정구역) → 가구(households) 심층설문 결과에 따라 속성정보구성	래스터 격자, 산림생태계의 이용 및 관리와 관련된 레이어로 구성 생태계서비스 가치 토양 침식량 산사태 위험성	1년	산림 개방의 범위 산림 개방의 대상 국유림 이용 시 지역주민 의견 반영	생태계서비스 가치, 지역주민의 소득	

자료: 저자 작성

모형의 스케일은 해양공간계획의 행위자와 환경 정의에 영향을 줄 수 있다. 많은 토지와 생태 관련 ABM의 인간 행위자는 대개 농업과 주거의 기본 단위인 가구로 정의된다. 그러나 일부 업종을 제외하고는 해양수산 관련 정책에는 가구가 의사결정의 기본 단위가 되기는 어려울 것으로 보인다, 따라서 해양 속성에 맞는 행위자(어선, 화물선 등의 배, 어족자원 등)를 설정할 필요가 있어 보인다. 또한, 환경 설정은 행위자와 상호작용하는 해양환경 속성을 추출할 필요가 있다. 해양에서는 경계나 구획이 분명치 않다는 점에서 여러 연구가 해왔던 대로 래스터 형태로 공간을 설계하는 것이 타당해 보인다.

수많은 연구에서 정책 시나리오는 기존 상태 유지 시나리오와 정책 변경 시나리오와의 비교의 형태로 이루어져 왔다. 이는 해양정책 차원에서도 유사한 접근일 수 있다. 다만, 외부 정책 요소에 의한 다소 빠른 반응을 확인하는 도시계획 및 부동산에서의 시뮬레이션 개발과 접근보다는, 환경과 생태 분야의 거버넌스 기반 정책 시나리오가 해양의 환경과 경제성을 종합적으로 바라보는 해양공간계획의 특성에 더 잘 부합하는 것으로 볼 수 있다. 구체적으로 언급하자면, 도시계획 및 부동산에서 모의하는 구체적인 정책 대안에 대한 검증은 초기 단계이며 아직 효과가 확인되지 않은 해양공간계획과는 부합하지 않는 것으로 보인다. 대신, 환경 및 생태 연구에서 주로 수행하였던 해양공간 이용과 보전, 행위 제한의 강도와 수준에 따라 어떻게 해양의 수익과 가치, 생태계서비스가 변화할 수 있을지는 접근하는 형태의 시뮬레이션 구축이 타당할 것으로 보인다.

앞서 사례 비교에서 정리한 바와 같이 ABM을 해양정책 의사결정에 활용한 국외 선행사례로부터 얻을 수 있는 가장 큰 의의는 기존 정책 의사결정 지원 도구의 난제 중 하나인 정책 이행의 복잡성과 불확실성을 줄일 수 있다는 점이다. 기존 정책 의사결정 지원 도구는 다양한 정책 이해관계자에 대해서 개별적으로 접근할 수 있는 도구적 기반을 제공했다는 점 또한

큰 의의이다. 그러나 국내 환경에 적합한 해양공간계획 지원 시뮬레이션을 개발하는 데 있어서 추가적으로 고려해야 할 사항도 있는데, 대표적인 네 가지를 제시하면 아래와 같다.

첫째, 해양공간을 구성하는 복잡한 '행위자-행위자' 및 '행위자-환경' 간 상호작용을 현실적으로 모의할 수 있도록 면밀한 검토가 필요하다. 이를 위해 다양한 자료와 경험, 지식의 축적뿐만 아니라 모형의 보정과 검증 단계를 충분히 거쳐야 한다. 참고할 만한 사례는 역할 놀이를 적용한 Simreef의 사례로, 이를 위한 현지 소사는 시간과 비용이 많이 소요된다는 단점이 있지만, 행위자의 의사결정 규칙을 적정하게 구성하는데 가장 효과적인 방법이다. 이 외에도 POSEIDON의 사례처럼 다양한 경제·생태모형, 공간모형 등을 세부 모듈로 차용하는 것도 좋은 접근법이 될 수 있다. 특히 해양공간계획과 같이 복잡한 구조의 시스템을 구축할 때는 다양한 정책의 파급효과가 상호 영향을 주거나 이보다 복잡한 형태로 중첩될 수 있어서 추가적인 고려가 필요할 수도 있다.[100]

둘째, 우리나라 관할해역의 특수한 지역적·공간적 속성을 적절하게 반영해야 한다. POSEIDON 사례는 공유재로서의 해양공간의 속성과 해양생물(수산자원)의 양적 제한을 반영하기 위해 해양생태계와 어업인의 의사결정 조건을 면밀하게 검증 및 보정하는데, 전체 해양공간계획에서는 어업인과 수산자원의 관계 외에도 다양한 이해관계자 및 이와 관련한 해양수산 현안이 존재한다. 전술한 해양수산 현안들은 용도구역 설정과 같은 해양공간계획 관련 거버넌스(governance) 측면에서 선행사례가 다루지 못한 복잡성을 야기하며, 이는 ABM의 필요성을 방증함과 동시에 시뮬레이션 모형의 설계와 구축 및 검증을 어렵게 하는 요소이다.

셋째, 가급적 ABM 구축에 적합한 플랫폼 도구를 사용할 필요가 있다.

100) Bailey et al.(2019), pp. 271-272.

Simreef나 아비새 모형 등 일부 사례는 플랫폼 도구를 사용하지 않고 프로그래밍 언어를 이용하여 별도의 모형을 구축하였다. 이러한 방식은 연구자 및 개발자가 원하는 형태와 성능을 발휘하는 맞춤형 모형 구축에는 적합하지만, 관련 분야 또는 다른 지역에 해당 모형을 적용하기 위해 동일한 모형 구축 작업을 반복하기 때문에 활용성이 다소 떨어진다. 최근에는 NetLogo, Mason 및 Anylogic과 같이 ABM 설계에 적합한 플랫폼 도구들이 다수 개발되었으며, 이에 기반한 모형 개발이 점차 확산하고 있다. 플랫폼 도구 기반의 모형들은 선행 사례를 토대로 대상 공간에 적합한 모형을 구축하는 후속 연구를 수행하기 수월하고, 세부 요소들에 대한 참고자료(라이브러리)를 다수 제공하기 때문에 전문 인력과 개발기간 측면에서 경제적이다. 특히 모형 개발 이후 연구자와 실무진 및 사용자의 축소나 변경 등 환경변화에 대해서 유연하게 대응할 수 있어 위험관리 측면에도 장점이 있다.

넷째, 시뮬레이션 모형 개발 시 현실 세계의 공간적 특성을 모사하는 실증모형을 지향하되, 행위자의 의사결정과 환경조건에 대한 검증을 위해 먼저 이론모형을 적용할 필요가 있다. 물론 단순한 목적과 명확한 행위자가 존재하는 아비새 모형과 같은 형태라면 처음부터 실증모형으로 진행할 수 있겠으나, 복잡성의 수준이 높은 인간 행위자를 다수 포함한 사회생태모형의 경우 전술한 단계적 접근 방법이 더 효율적이다. 이러한 방식을 적용한 대표적 사례인 POSEIDON은 행위자의 의사결정 규칙과 연안생태계의 메커니즘을 고도화하는 데 효과적임을 확인하였다. MarPEM의 사례와 같이 현실 세계의 구성요소나 의사결정 구조 가운데 단순화할 수 있는 사항을 최대한 요약하는 것도 목적에 따라 유용한 방법이 될 수 있다.

마지막으로, 해당 사업은 장기적인 시각으로 꾸준하게 진행될 필요가 있다. 국내 사례뿐만 아니라 해외 해양 관련 사례에서도 ABM에 기반을 둔 의사결정 모형의 경우 일회성 연구로 끝난 사례가 다수 있다. 연구성과를 기반으로 계속 진행이 가능한 연구라면 가장 좋겠지만, 무엇보다 ABM 의

사결정 지원시스템 구축 지원 기관의 의지와 인내심이 가장 중요하다. 또한 이것이 담보되지 않아 사업이나 지원이 종료되더라도 지속해서 연구가 진행될 수 있는 체계를 구축하는 것이 필요하다. 먼저, 다양한 정부 기관과 학계, 산업계가 유기적으로 연결된 연구 네트워크 구축이 대안이 될 수 있으며, 무료 개방형 S/W 형태로 의사결정시스템을 개발하는 것도 연속성 유지에 좋은 해법이 될 것으로 기대한다.

〈표 3-8〉 해외 해양정책 의사결정 적용 사례: 모형구축 자료와 방법, 결과 활용

제목	모형 구축 자료 및 방법					모의 결과 및 활용	
	공간 규모	행위자	환경	단위	정책 시나리오	결과 지표	성과 활용
SimReef & CORSET	유카탄반도의 킨타나로 지방 해안	인간 행위자: 보호 기구, 어업인, 관광산업(종사자), 지방정부 생태환경행위자: 조류, 산호초, 초식·육식어류, 랍스터 등 행위자의 행동 규칙은 경험과 통계, 참여 관찰 등을 따름	25㎢(SimReef)→4㎢(CORSET) 격자로 구성 · 토지이용과 해양환경을 요약	1년	· 어업 시나리오: 어족자원의 급격한 붕괴와 점진적 붕괴 시나리오 · 킨타타로 지방의 관광객 증가 시나리오	토지 및 해안 이용, 소득, 어족자원 등	최적 어업 및 관광정책 선정
아비새 해상풍력 누적 영향 모형	북해 및 발트해	행위자: 아비새 수온과 수심, 새의 밀도에 따라 계절별로 이동	발트해를 포괄하는 500m 단위격자 약 10억 개로 구성	계절	· 해상풍력단지 계획(~2010), · 덴마크 에너지청 주관 덴마크 풍력발전 계획 · 덴마크 해역과 발트해 전역의 풍력발전단지 건립 (예정) 계획	16개 지표	적정 해상풍력발전단지 규모 및 총량 관리
MarPEM	세계 LNG 수요-공급 시스템; 단 비유럽은 단순화	선박, 연료 공급자, 연료 시장, LNG 터미널, 액화 공장	다음 요소가 환경 또는 네트워크, 변수의 역할 · 항구, 운항선, 추진기술, 우선순위 등	1일	· 배출 규제 시행 · 항구별 LNG 가용성 변화 · 선박 개조의 촉진	각 선박 추진방식의 사용률의 시간에 따른 변화	LNG 공급 시스템 변화 예측
POSEIDON	명확한 공간규모 불확실(연안어업 정도 스케일로 예상)	어선: 의사결정과 기억이, 다른 개체와 독립적 그 외 행위자: 항구, 어업인, 어업인 연결망, 어업시장	격자별 바이오메스 · 물고기의 수, 물고기의 속도, 성장률 등	시간 또는 1일	· 어업 할당량 거래 여부 · 해양 보호구역 배치 방안 · 어업 할당량과 보호구역의 복합적 정책 효과	바이오매스 값, 어업인 소득 등	지속가능한 어업정책 탐색

자료: 저자 작성

04
행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 설계 방안

제1절 해양공간계획 시뮬레이션 수요조사

해양공간관리계획 수립 및 집행을 위한 지역협의회, 공청회 등 의견 수렴 과정에서 정책(용도구역 등)의 효과와 영향에 대한 객관적인 자료와 정보가 부족하여 이해관계자 간 갈등이 발생한다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 사전 시뮬레이션 기술이 필요하며, 해양공간계획 정책 수립과 관련된 실무 수행 담당자를 대상으로 기술 수요를 조사하였다.

1. 정책 수요를 위한 설문조사

해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 수요를 파악하기 위한 설문조사의 개요는 다음과 같다. 조사는 해양공간계획 및 해양 관련 실무를 담당하는 해양수산부와 지자체, 기타 공기관의 종사자를 대상으로 6월 16일부터 6일간 이메일을 이용한 인터넷 설문을 수행하였다. 본 연구는 해양

공간계획 제도에 대해 전혀 인지하지 못하는 대상(1명)을 제외하고 총 31명에 대한 조사 결과를 반영하였다. 응답자의 구성은 광역지자체 소속 공무원이 전체 약 47%로 가장 큰 비중을 차지하며, 대부분 연안 관리·정비(35.5%) 혹은 해양 환경·생태계(29%) 업무를 담당하는 것으로 나타났다.

〈표 4-1〉 시뮬레이션 기술 수요조사 개요

조사 대상	해양공간계획 및 해양 관련 실무 담당자
표본 수	31명
표본오차	95% 신뢰수준에서 최대 허용 표본오차 ± 17.60% Point
조사 방법	구조화된 설문지를 통한 e-mail 활용 온라인 조사
조사 기간	2022년 6월 16일 ~ 6월 21일

자료: 저자 작성

설문 항목은 해양공간계획 제도에 관한 내용과 시뮬레이션 기술에 관한 내용으로 구성되어 있다. 우선 제도에 관한 항목은 「해양공간계획법」과 해양공간계획 제도에 대한 인지도, 충분성, 이행상의 어려움, 개선사항, 장기적 비전으로 구성된다. 다음 기술에 대한 항목은 시뮬레이션 기술의 인지도, 필요성, 역할, 활용 분야, 제약요인, 개선사항을 포함한다.[101]

1) 해양공간계획 제도 관련

가. 해양공간계획 인지도

해양공간계획 제도에 대한 첫 번째 문항은 관련 법 및 제도에 대한 인지도를 묻는 항목으로, 부정적 답변이 16.1%, 긍정적인 답변이 54.8%로 조

101) 구체적인 설문 문항은 부록(보고서 pp. 295-299.) 참고

사 대상자의 대부분은 제도에 대해 인지하고 있는 것으로 나타났다. 소속 기관별 응답을 비교하면, 5점 만점 기준으로 각각 4.6점, 3.0으로 중앙부처 담당자가 지자체와 비교해 제도에 대한 높은 인지도를 나타낸다.

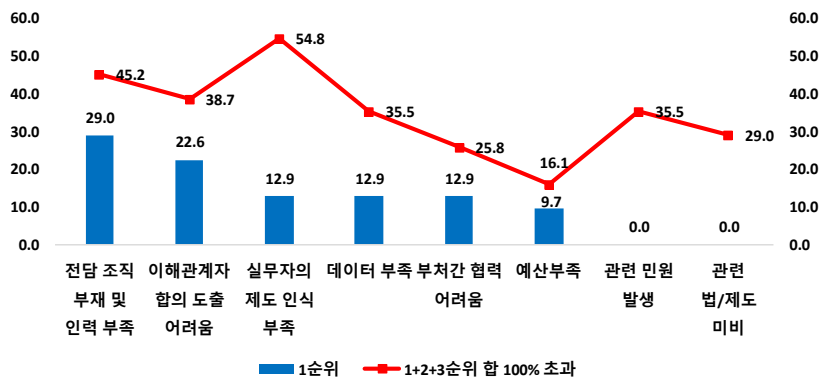
나. 해양공간계획 제도의 충분성

다음은 현행 해양공간계획 제도가 해양공간을 관리하는데 충분한지에 대한 문항으로, 긍정적인 답변이 51.6%로 반수 이상의 응답을 보여 현 제도가 전반적으로 해양공간 관리에 부족함이 없는 것으로 보인다. 소속기관, 업무경력 등 응답자 특성과 무관하게 일관된 의견을 내놓아 해양공간계획 업무 담당자들이 대체로 제도에 대해 만족하는 것으로 판단된다.

다. 해양공간계획 이행시 어려움

현재 해양공간계획 관련 업무의 담당자로서 제도를 시행하는 데 경험했던 어려운 점에 대한 문항이다. 조사 결과, '전담 조직 부재 및 인력 부족'이 29.0%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 '이해관계자 합의 도출 어려움'은 22.6%, '실무자의 제도 인식 부족'은 12.9% 순으로 높게 나타났다.

〈그림 4-1〉 해양공간계획 이행 시 어려움에 관한 응답 결과



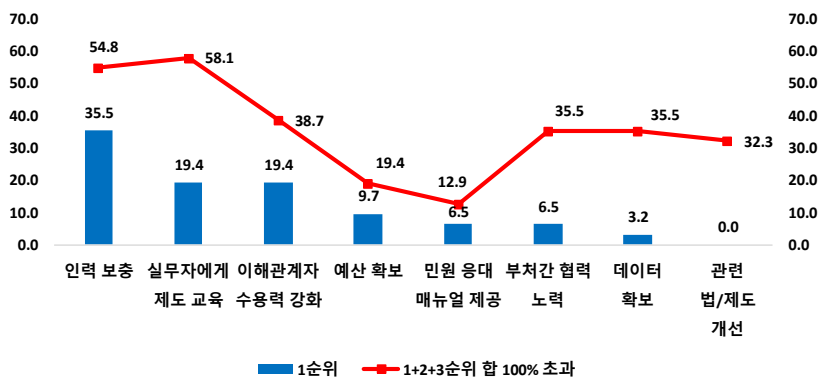
자료: 저자 작성

따라서 업무에 필요한 조직 및 인력 등 체계에 대한 문제를 제외하고, 제도 이행을 위한 당사자 간 합의 과정과 제도에 대한 인식이 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있는 것으로 보인다. 소속기관에 따른 응답은 기초지자체 담당자의 경우 '제도의 인식 부족'이 83.3%, 해양수산부 및 기타 공공기관 담당자는 '전담 조직 및 인력 부족'이 50%로 가장 높게 나타나 기관별로 제도에 대한 견해 차이가 있음을 확인할 수 있다.

라. 해양공간계획 이행을 위한 개선사항

조사 대상자에 해양공간계획 제도의 이행을 위해서 필요한 개선사항에 대해 문의한 결과, '인력 보충'이 35.5%로 가장 높게 나타났고, 이어서 '실무자에게 제도 교육', '이해관계자 수용력 강화'가 각각 19.4%로 나타났다. 앞서 제도 이행 시 어려움의 응답 결과와 유사하게 나타났으며, 인력 보충 외에 당사자의 제도에 대한 인식과 수용성 강화의 필요성을 강조하였다. 예상했던 결과와 달리 '데이터 확보'에 대한 응답은 3.2%로, 해양공간계획 업무에서 담당자의 중요성은 낮게 나타났다.

〈그림 4-2〉 해양공간계획 이행의 개선사항에 관한 응답 결과

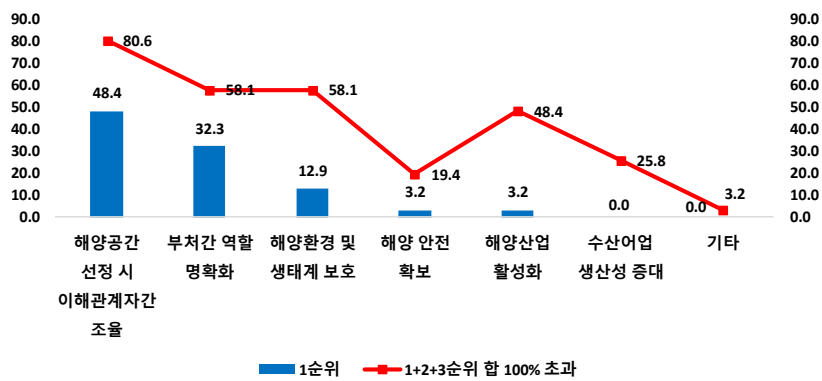


자료: 저자 작성

마. 해양공간계획 장기적 비전

해양공간계획 제도의 장기적인 비전에 관한 조사는 '해양공간 선정 시 이해관계자 간 조율'이 48.4%로 가장 높게 나타났고, 이어서 '부처 간 역할 명확화'는 32.3%, '해양환경 및 생태계 보호'는 12.9% 순으로 나타났다. 조사 결과를 통해 해양공간계획의 장기적인 목표는 해양 이용 및 환경의 당사자 간 합의가 중요하다는 것, 해양수산부를 비롯해 국토교통부, 환경부, 국방부 등 다양한 중앙부처가 관여하고 있는 해양공간을 효과적으로 관리하기 위해 이들 관계부처 간 역할 조정이 중요하다는 것을 알 수 있다. 해양공간 관리를 담당하는 실무자는 해양 환경·생태계의 보호 역시 해양공간계획의 중요한 비전으로 인식하고 있다. 소속 기관별 응답은 중앙부처 및 공공기관, 기초지자체는 이해관계자 간 조율, 광역지자체의 경우 해양환경·생태계 보호를 해양공간계획의 장기 비전으로 인식하고 있다.

〈그림 4-3〉 해양공간계획 장기적 비전에 관한 응답 결과



자료: 저자 작성

2) 해양공간정책 시뮬레이션 관련

가. 시뮬레이션 기술 인지도

시뮬레이션 기술에 대한 조사의 첫 번째 항목은 해당 기술에 대한 인지도에 관한 응답은 '그렇지 않다(전혀 그렇지 않다+그렇지 않다)'는 41.9%, '보통'은 41.9%, '그렇다(매우 그렇다+그렇다)'는 16.1%로 나타났다. 따라서 해양공간계획 업무를 담당하는 실무자의 83.8%는 시뮬레이션 기술에 대해 잘 모르는 것으로 보인다.

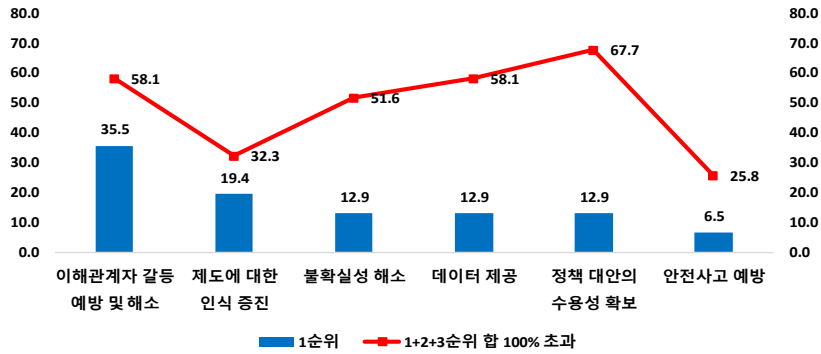
나. 시뮬레이션 기술의 필요성

다음 해양공간계획의 수립 및 이행과정에서 시뮬레이션 기술의 필요성을 문의한 결과, '긍정적인 답변(매우 그렇다+그렇다)'은 83.9%, '부정적인 답변(전혀 그렇지 않다+그렇지 않다)'은 9.7%로 다수의 업무 담당자가 시뮬레이션 기술의 도입에 찬성하는 것으로 나타났다. 특히 기초지자체 소속의 경우, 응답자 전체가 시뮬레이션 기술 도입에 찬성하였다.

다. 시뮬레이션의 역할

해양공간계획 제도의 운용에 있어서 시뮬레이션 기술의 역할을 조사한 결과, '이해관계자 갈등 예방 및 해소'가 35.5%로 가장 높게 나타났고, 이어서 '제도에 대한 인식 증진'은 19.4%, '불확실성 해소', '데이터 제공', '정책 대안의 수용성 확보'는 각각 12.9%로 나타났다. 따라서 업무 담당자는 시뮬레이션 기술의 역할 중 이해관계자 간 의견 조정과 제도의 인식 증진을 가장 중요한 것으로 인식하고 있으며, 그 밖에 불확실성 해소, 데이터 제공, 정책 수용성에 대한 수단으로 인식하고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 실무자 관점에서 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 필요성에 관한 시사점을 얻을 수 있다.

〈그림 4-4〉 해양공간계획 제도에서 시뮬레이션의 역할에 관한 응답 결과

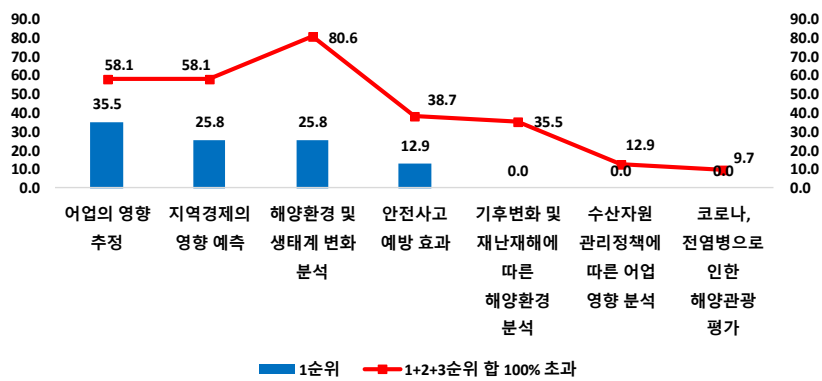


자료: 저자 작성

라. 시뮬레이션 활용 분야

다음 해양공간계획 지원을 위한 구체적인 시뮬레이션 기술의 활용처에 대한 조사 문항에서는 '어업의 영향 추정'이 35.5%로 가장 높게 나타났고, 이어서 '지역경제의 영향 예측'과 '해양 환경·생태계 변화 분석'이 각각 25.8%, '안전사고 예방 효과'는 12.9% 순으로 나타났다.

〈그림 4-5〉 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 활용 분야에 관한 응답 결과



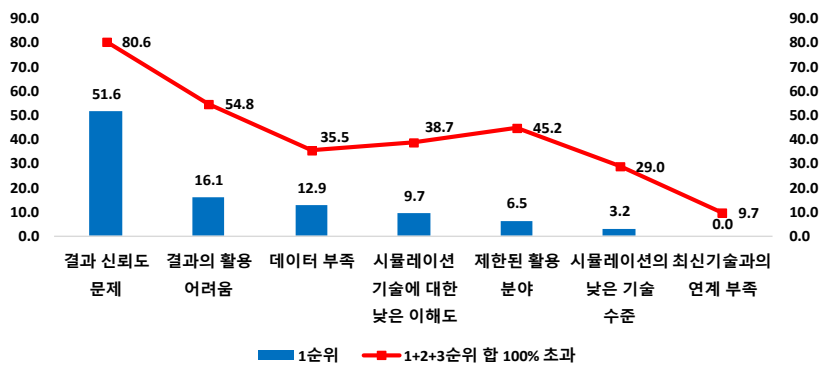
자료: 저자 작성

이 결과를 통해 시뮬레이션 기술이 새로운 제도의 조업 활동 및 지역 경제의 영향 분석, 환경·생태계의 변화 추정, 안전사고 예방에 적용될 가능성을 가장 기대하는 것으로 보인다.

마. 시뮬레이션의 제약요인

해양공간계획 적용에 있어서 시뮬레이션 기술의 제약요인에 대해 문의한 결과, '결과 신뢰도 문제'가 51.6%로 가장 높게 나타났으며, 이어서 '결과의 활용 어려움'은 16.1%, '데이터 부족'은 12.9% 순으로 나타났다. 이러한 결과는 시뮬레이션 기술의 정책적 활용을 위해 분석 결과의 신뢰도가 무엇보다 중요하며, 담당자가 업무에 활용할 수 있도록 편의성에 대한 고려가 필요함을 시사하고 있다. 또한 시뮬레이션 기술의 운용을 위한 입력 데이터 문제를 지적하고 있다.

〈그림 4-6〉 시뮬레이션 제약요인에 관한 응답 결과



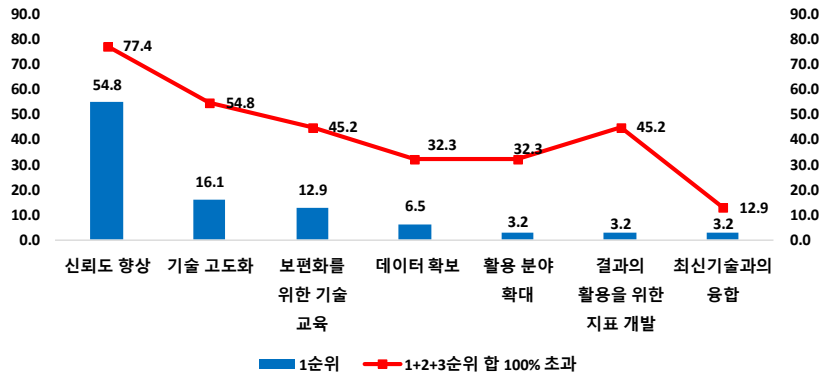
자료: 저자 작성

바. 시뮬레이션 개선사항

마지막으로 시뮬레이션 기술의 개선사항에 대해서 응답자는 '신뢰도 향상'이 54.8%로 가장 높게 나타났고, 이어서 '기술 고도화'는 16.1%, '보편

화를 위한 기술 교육'은 12.9% 순으로 나타났다. 해양공간계획 적용을 위한 개선사항과 관련하여 시뮬레이션 결과의 신뢰도를 가장 중요하게 인식하고 있는 것으로 나타났으며, 다음으로 기술의 고도화와 사용자 교육을 중요하게 인식하는 것으로 나타났다.

〈그림 4-7〉 시뮬레이션의 개선사항에 관한 응답 결과



자료: 저자 작성

2. 시뮬레이션 역할 및 기능에 대한 요구사항 분석

다음은 본 보고서의 제2장에서 해양공간계획 이행을 위한 시뮬레이션 도입의 필요성을 검토한 내용과 제3장에서 선행연구 고찰을 통해 도출한 ABM(행위자기반모형)의 특성과 개발 시사점, 그리고 제4장 1절에서 제시한 해양공간계획 실무자 대상의 설문조사 결과를 토대로 해양공간계획 이행과정에서 시뮬레이션 기술의 역할과 기능에 대해서 논의하고자 한다.

1) 해양공간계획 이행과정에서 시뮬레이션 역할

앞서 제2장에서 해양공간계획 현황과 수립·이행 과정의 현안을 검토하여 도출한 정책관리 수단 차원의 한계점은 첫째, 지난 해양공간계획 수립 과정에서 육상과 다른 해양공간 및 활동의 특성을 제대로 고려하지 못한 점, 둘째, 다층적 해양 활동에 대한 정보 부족, 셋째, 계획 수립과 이행과정의 데이터 불일치, 넷째, 해양공간계획을 지원하기 위한 정보와 도구 부재로 요약할 수 있다.

- 육상과 다른 해양공간 조건 및 해양 활동의 특성 미고려
- 다층적 해양 활동을 진단하기 위한 해양공간정보 부족
- 해양공간계획 수립과 이행과정에 활용되는 데이터 불일치
- 해양공간계획 이행을 지원하기 위한 정보와 분석 도구 부재
- 해양공간의 갈등 조정을 지원하기 위한 도구 미비

이러한 진단 결과를 토대로 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 역할을 다음의 두 가지로 제안한다. 첫째, 시뮬레이션 기술을 이용해 기술적 정보를 토대로 전략적·통합적 정보를 생산한다. 둘째, 시뮬레이션 결과를 활용하여 갈등 조정과 과학적 해석을 위한 논의 자료를 제공한다. 앞서 4장의 해양공간계획 실무자 대상의 시뮬레이션 기술에 대한 설문조사 결과에서도 시뮬레이션의 역할에 대해서 이해관계자 갈등 예방 및 해소‘(35.5%), ‘제도에 대한 인식 증진’(19.4%), 그 밖에 ‘불확실성 해소’, ‘데이터 제공’, ‘정책 수용성 확보’ 등으로 나타났다.

전술한 내용과 마찬가지로, 큰 맥락에서 시뮬레이션의 역할을 정리하자면 현황 자료를 토대로 미래 이용 및 영향을 전망할 수 있는 전략적 정보 생산 매체, 그리고 미래 갈등 및 불확실성을 해소할 수 있는 과학적 도구로

요약할 수 있다. 해양공간계획 이행에 있어서 이러한 역할을 고려하여 시뮬레이션의 구체적인 요구사항과 기능을 도출하고, 이어서 모형의 설계 및 개발 방안을 검토한다.

- **현황 자료를 토대로 미래 이용 및 영향을 전망할 수 있는 전략적 정보 생산 매체**
- **미래 갈등 및 불확실성을 해소할 수 있는 과학적 도구**

2) 해양공간계획 이행을 위한 시뮬레이션 기능 구현

앞서 2장은 해양공간계획 현황 및 현안을 검토하여 시뮬레이션 기술의 역할을 정의하고, 구체적인 활용 영역에 대해 논의하였다. 요약하자면 시뮬레이션 기술의 활용은 크게 '미래 수요 기반 해양용도구역 지정 및 변경', '부문별 갈등과 영향 평가', '이행 모니터링 및 성과 측정'의 세 가지로 구분할 수 있다. 4장의 설문조사 결과에서는 시뮬레이션의 구체적인 활용 분야로 '어업의 영향 추정(35.5%)', '지역경제의 영향 예측(25.8%)', '해양환경·생태계 변화 분석(25.8%)'이 나타나 어업, 지역경제, 환경·생태계의 영향 예측을 위한 활용 가능성을 기대하고 있는 것으로 보인다. 여기서는 앞서 시뮬레이션 기술의 활용 영역을 실행하기 위한 구체적인 기능에 대해서 살펴보고자 한다.

첫째, 지자체의 관리계획 수립 및 이행 시에 현황과 더불어 미래 수요에 기초하여 용도구역을 지정, 변경할 수 있도록 해양공간의 미래 이용행위와 환경·생태계 현황을 예측하기 위해서 시뮬레이션 기술을 활용할 수 있다. 따라서 용도구역 지정 및 변경에 따른 해양공간 이용행위와 환경의 변화를 예측할 수 있는 기능을 구현해야 한다. 용도구역의 효과는 행위자의 행위를 위한 공간 선택(어장, 낚시터, 항로 등)과 행위와 환경과의 상호작용을

모델링하고, 용도구역 변경과 관련된 시나리오를 구성하여 시뮬레이션 분석에 적용할 수 있다. 따라서 해양공간의 주요한 행위와 상호작용에 대한 이론적 근거 및 충분한 자료를 확보하여 행위자의 행위와 상호작용의 규칙을 현실과 유사한 수준으로 재현해야 한다. 용도구역 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과는 각 구성요소에 대한 영향과 변화를 나타내는 지표와 그래프 자료를 토대로 보고서를 작성하고, 필요시 지도로 표시하여 업무에 참고할 수 있도록 기능을 제공한다.

둘째, 해양공간을 이용하고자 하는 새로운 이용 계획 및 개발사업에 대한 적합성협의 시, 대상 사업으로 인한 갈등 요소와 지역경제, 환경·생태계 등 여러 부문에 대한 영향을 평가하기 위해 시뮬레이션 기술을 적용할 수 있다. 용도구역과 다르게 적합성협의 업무에 시뮬레이션 기술을 활용하기 위해서는 까다로운 자료 요건을 충족시켜야 한다. 일반적으로 적합성협의 대상 사업의 규모가 어항 혹은 소규모 개발사업일 때 대상 사업으로 인한 여러 방면의 영향을 파악하기 위해서는 시·공간 차원에서 더욱 정교한 수준의 자료를 요구한다. 가령, 어항시설 보수 및 개발을 위한 어촌뉴딜사업의 경우 친수공원, 레저용 선양장 등 시설 개발을 위한 사업으로, 친수공원 및 선양장 건설로 인한 지역경제 및 환경·생태 영향을 파악하기 위해서는 주변 지역의 여건에 대한 정밀한 자료가 필요하다. 이러한 자료가 충족되는 경우 사업 전·후의 변화를 비교 분석할 수 있는 시뮬레이션 기능이 필요하며, 사업 내용을 토대로 시나리오를 구성하고, 주변 이용 여건 및 환경요소를 행위자 및 환경으로 설정하여야 한다. 또한, 이용 행태와 상호작용에 대한 이론적 근거와 충분한 자료를 확보하여 관련 의사결정 규칙을 정의해야 한다. 적합성협의 대상 사업 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과는 주변 이용 여건 및 환경에 대한 영향을 나타내는 지표와 그래프 자료를 토대로 보고서를 작성하고, 필요한 시 적합성협의 업무에 참고할 수 있도록 지도 자료를 제공하는 기능도 필요하다.

셋째, 해양공간계획 수립 이후에 제도의 이행 수준이나 정책목표의 달성 정도를 파악하기 위한 모니터링 및 성과 측정 수단으로 시뮬레이션 기술을 이용할 수 있다. 해양공간계획의 모니터링 및 성과 진단을 위해서는 우선 모니터링 대상을 정의하여 ABM의 행위자 및 환경으로 설정하고, 계획 수립의 시점과 내용을 기준 시나리오(base scenario)로, 현재 시점과 현황을 대상 시나리오(target scenario)로, 정책목표의 시점과 내용을 목표 시나리오(goal scenario)로 구성하여 세 시나리오를 적용한 시뮬레이션 결과를 비교 검토하면 현재의 계획 이행 수준과 목표 대비 달성 정도를 측정할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 결과에서 비교가 용이한 평가지표를 선정하고, 시점별 평가지표를 산출하도록 과거와 현재 시나리오에 적용할 데이터와 미래 목표 시점의 시나리오 구성을 위한 자료, 그리고 시나리오 분석을 위한 시뮬레이션 기능이 요구된다. 마찬가지로 주무 부처인 해양수산부나 지자체 담당 부서에서 해양공간계획 이행과정을 지속적으로 모니터링하기 위해서 시뮬레이션 결과를 지표나 그래프 자료로 출력하고, 필요시 지도 형태로 출력하여 성과평가 업무에 활용하도록 기능을 제공한다.

- **용도구역 지정·변경을 위한 미래 이용수요 및 영향 예측**
- **적합성협의 대상 사업의 부문별 영향 예측**
- **해양공간계획 이행 모니터링 및 성과 진단**

제2절 행위자기반 시뮬레이션의 적용 범위

1. 시·공간적 범위

가. 시간적 범위

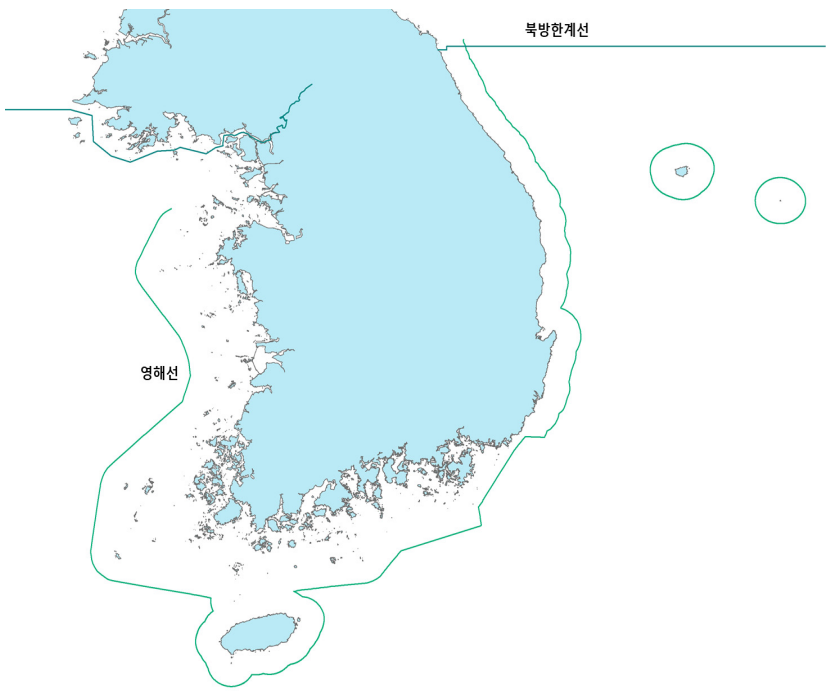
행위자기반 시뮬레이션을 적용한 본 연구의 시간적 범위는 모든 연안 광역지자체의 해양공간관리계획이 수립·고시되는 시점인 2022년을 기준(base year)으로 설정하였고, 해양공간계획(용도구역)의 정책적 효과를 추정하기 위한 대상 시점(target year)은 시나리오 구성에 따라 설정하였다. 첫째, 용도구역 설정 기준에 대한 시나리오 분석은 기준 시점으로부터 10년 후인 2032년을 대상 시점으로 설정하였다. 둘째, 용도구역에 대한 주민의 정책 수용성에 대한 시나리오 분석의 대상은 앞서 용도구역 시나리오와 마찬가지로 2032년을 지정하였다. 이것은 「해양공간계획법」 제5조에 따른 해양공간기본계획의 수립 주기(10년)와 일치하는 것으로, 전반적인 해양공간정책의 변화 주기로 볼 수 있어 향후 해양공간계획과 관련된 정책 의사결정에 활용하기 위해 동일한 주기를 적용하였다. 마지막으로, 정책환경 변화(기후변화, 해상풍력 등)에 따른 시뮬레이션 분석은 장기적인 관점에서 20, 30, 50년 등으로 적용할 수 있다. 다만, 정책환경의 시간적 특성을 고려하여 분석 목적에 맞게 조정할 필요가 있다.

시뮬레이션 분석을 위한 시간 스케일은 월 단위로 지정하였으며, 이는 해양 이용(어업, 관광, 항행 등)과 생태계(어류 등)의 연중 계절적 특성과 항적·어획량 등 분석 데이터의 수집 가능성을 함께 고려하였다. 정교한 수준에서 일 단위 분석은 어획량 등 일부 데이터의 수집이 용이하지 않고, 장기 분석의 경우에 시뮬레이션 분석에 필요한 시간과 컴퓨팅 자원이 많이 소모될 수 있어 주의가 필요하다.[102)]

나. 공간적 범위

본 연구의 공간적 범위는 해양공간계획의 대상 범위 중 영해 내측(항만 포함)으로 한정한다. 이는 영해 외측의 경우 원해어업 등 해양공간을 이용하는 행위가 제한되며, 관련 자료의 신뢰도나 가용성이 영해 내측과 비교해 상대적으로 낮아서 시뮬레이션 분석에 적합하지 않기 때문이다. 따라서 다양한 이용행위들이 발생하고, 자료 수집이 쉬운 영해선 안쪽의 광역지자체 관할해역을 시뮬레이션 분석을 위한 공간 범위로 설정한다.

〈그림 4-8〉 시뮬레이션 분석의 공간적 범위

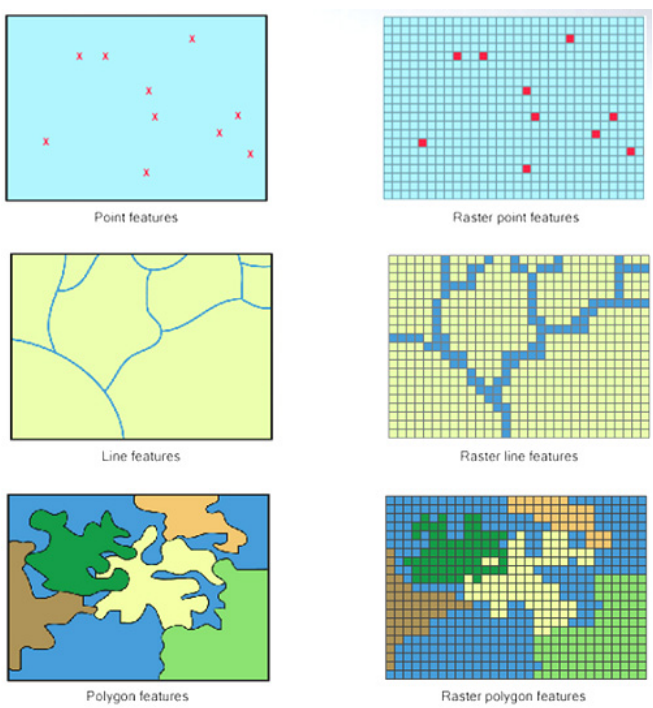


자료: 저자 작성

102) 시간적 범위가 10년인 경우, 산술적으로 월 단위는 10(년)×12(월)로 120회, 일 단위는 10(년)×365(일)로 3,650회의 시뮬레이션 시간과 연산이 요구됨

ABM을 실행하기 위해서는 시뮬레이션 환경을 구축해야 하며, 시뮬레이션 환경은 크게 벡터(vector)와 래스터(raster) 방식으로 구분할 수 있다. 벡터 방식은 실제 세계의 객체(objects)를 그래픽으로 재현하는 것으로, 개체의 기하학적 특성에 따라 점(points), 선(lines), 면(polygons)의 형태로 표현한다. 벡터 방식은 객체의 경계가 뚜렷하므로 높은 정밀도를 나타내지만, 데이터 구조가 복잡하여 연산이 복잡하다. 래스터는 격자(grid)로써 객체를 표현하며, 각 격자 안에는 객체의 속성 정보가 포함되어 있다. 래스터 방식은 격자의 크기로 정밀도(해상도)가 결정되며, 객체의 경계가 분명하지 않지만, 데이터 구조가 단순하여 비교적 연산이 단순하다.

〈그림 4-9〉 벡터와 래스터 방식 비교

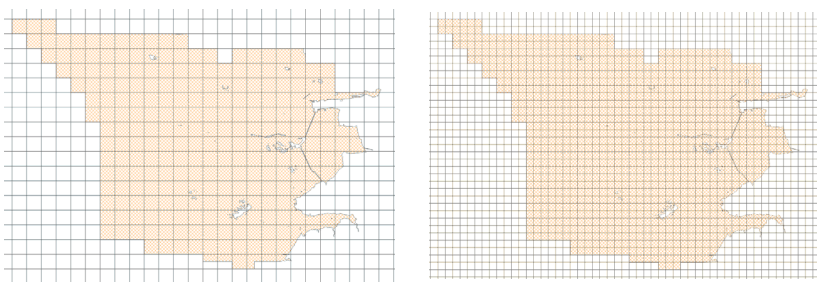


자료: 훔볼트대학(검색일: 2020.6.22.)

육지 공간과 달리 해양은 물리적 경계가 뚜렷하게 존재하지 않고, 연속적인 공간에서 다양한 인문·자연현상이 복합적으로 발생하므로 각 현상의 공간 범위를 구분하기가 쉽지 않다. 따라서 일정한 크기의 격자 단위로 대상 공간을 구획하여 현상의 공간 범위를 정의하는 래스터 방식이 적절하다. 또한, 해양 자료는 대부분 격자 단위로 수집·제공하고 있어 격자 체계(grid system)로 시뮬레이션 환경을 구축하는 것이 적합하다. 따라서 ABM을 활용한 본 연구는 일정한 크기(1.5분 혹은 3분 단위)의 격자를 적용하여 시뮬레이션 환경을 구축하는 것이 적절하다. 단위격자의 크기가 작을수록 재현하고자 하는 객체의 정밀도가 높아지는 반면, 저장용량이 커지고 연산속도는 떨어진다.

현행 해양공간관리계획은 3분 단위의 격자 체계를 적용하고 있으며, 관련 데이터도 유사한 격자 체계를 가지고 있어 당장은 3분 격자를 시뮬레이션 환경에 적용하는 것이 가장 적절하다. 하지만 시뮬레이션 대상의 공간적 범위(해양공간)와 시뮬레이션 객체(해양 이용)의 공간적 특성을 종합적으로 고려하여 시뮬레이션 분석을 위한 격자 체계를 설정하여야 한다.

〈그림 4-10〉 3분 격자(좌)와 1.5분 격자(우) 체계(전북 해역 예시)



자료: 저자 작성

2. 내용적 범위

가. 정책 수단: 해양용도구역

본 연구의 목적은 해양공간계획 지원을 위한 행위자기반 시뮬레이션 모형을 개발하는 것으로, 시뮬레이션 분석을 통해 해양공간계획 정책의 효과를 평가하고자 한다. 따라서 정책 효과의 분석을 위한 본 연구의 내용적 범위는 해양공간계획의 실질적인 정책 수단인 해양용도구역[103] 지정으로 인한 해양 이용 및 환경의 변화를 미시적 규모(micro scale)에서 추정하는 것이다. 특히, 전체 해양용도구역(9개) 중 이용행위의 공간적 범위가 비교적 분명하고 지속성·유동성이 크며,[104] 정책 대상자(이해관계자) 및 담당 실무자로부터 다른 용도구역에 비해 상대적으로 관심도가 높은 어업, 관광, 항행(항만 제외), 생태계 관련 용도구역을 시뮬레이션 대상으로 설정하였다.

해양 이용 및 환경 측면에서 용도구역의 효과를 분석하기 위해서 다음의 세부 사항을 내용 범위로 설정하였다. 먼저 용도구역 설정으로 인해 각 이용행위가 어떻게 적응하는지 혹은 해양 환경이 어떻게 변화되는지를 시뮬레이션으로 재현하여 용도구역 적용과 미적용 상태를 서로 비교한다. 이때 한 시점이 아닌 시계열 상에서 변화하는 과정을 모의하여 변화 및 적응과정을 살펴본다. 예를 들어, 어업활동보호구역의 경우 해당 공간 내에서 타 행위보다 어업활동을 우선하도록 모델링하여, 어업활동보호구역이 설정된 경우와 설정되지 않은 경우의 어업활동의 구체적인 변화 과정을 비교 분석한다. 구체적으로 용도구역 설정에 따른 월별 어선의 어장 선택 결과와 그에 따른 수입과 지출(연료비 등)의 변화를 살펴볼 수 있다. 해양 환경의 경우는 어업 및 기타 활동과 어류생태계(지역별 주요 어종)의 관계(자연증가

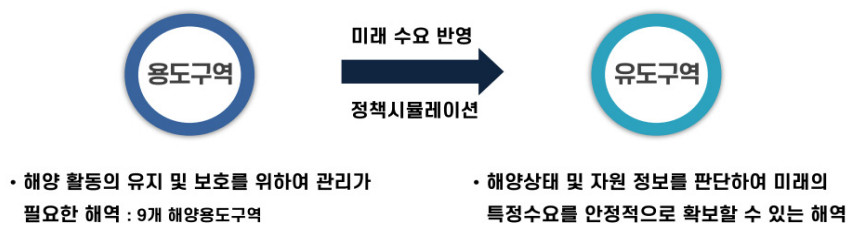
103) 해양공간의 이용·개발 및 보전 활동을 합리적으로 배분·관리하기 위하여 지정하는 구역을 말함(해양공간계획법 제2조)

104) 현상 자체의 시간적 지속성이 크고, 이동성이 큰 대상일수록 행위자기반 시뮬레이션에 적합하며, 정책의 효과를 분석하기 수월하기 때문임

율 감소 등)를 모델링하여 용도구역(환경·생태계관리구역 포함) 제도에 따른 영향을 간접적으로 분석할 수 있다. 다만, 본 연구는 모형의 복잡도를 고려하여 어류의 회귀성(migration behavior) 혹은 이동성(movement behavior)을 고려하지 않는다. 따라서 향후 더욱 정교하고 현실적인 정책 분석을 위해서 어류의 이동 및 활동 영향에 대한 이론 및 모형을 적용할 필요가 있다.

현행 용도구역 제도는 현재 시점의 이용 현황에 기초해 지정한 것으로 해양수산부(해양공간정책과)는 미래의 이용수요 및 현황을 반영한 유도구역 개념을 검토하고 있다. 따라서 해양공간계획 관련 의사결정을 지원하기 위한 시뮬레이션 기술은 유도구역(inducing zones) 개념을 적용하여 현재 관리계획에 명시된 용도구역 외에 대상 해양공간에 새로운 용도구역을 지정하는 시나리오를 통해 유도구역의 미래 정책 효과를 평가할 수 있다. 다만 유도구역 시나리오를 적용하기 위해서는 미래 해양 상태와 자원 정보를 판단할 수 있는 참조 자료를 활용해야 한다.

〈그림 4-11〉 기존 용도구역에 미래 수요를 반영한 유도구역 개념



자료: 저자 작성

나. 내부 환경: 정책수용도

해양공간계획의 정책 수단인 해양용도구역에 따른 정책 효과와 더불어 행위자기반 시뮬레이션 연구를 통해서 용도구역 제도에 대한 이해당사자의

정책 수용도를 바탕으로 그 효과를 분석하고자 한다. 정책 수용도(policy acceptance)란, 정부 정책 지침이나 방향 등에 대해 순응 또는 동조하는 정도로 정의된다.[105] 따라서 용도구역 제도에 대한 정책 수용도란, 용도구역으로 지정된 공간을 이해당사자가 얼마나 잘 따르느냐의 정도로 가늠할 수 있다. 사실상 현행 해양용도구역 제도는 지정 공간에 대한 각 행위의 우선순위를 권장(券狀)하는 정책으로, 가령 어업활동보호구역이 아닌 공간에서 어업 행위를 하거나, 혹은 어업활동보호구역 내에서 관광, 항행 등 다른 행위를 하더라도 법적으로 처벌할 수 있는 규정이 없다. 그런데도 해양용도구역은 해양공간에서 발생할 수 있는 행위 간 갈등을 예방하고, 해양이용의 지속가능성과 효율성을 향상하는 제도적 취지로, 해양용도구역에 대한 정책 수용도를 통해서 정책의 효과를 살펴볼 필요성이 있다. 이러한 분석 결과는 용도구역 제도에 대한 주민의 인식과 정책수용성을 높이는 데 이바지할 것으로 기대된다.

다. 외부 환경: 정책적 환경

앞서 용도구역 설정과 정책 수용도에 따른 정책 효과의 분석 외에 해양공간계획 제도의 이행·집행 과정에서 발생할 수 있는 여러 자연적·인문적 특수 상황(unusual context)에서 정책 영향의 변화를 파악한다. 따라서 어떤 인위적 조작이 없는 현재의 추세를 바탕으로 하는 '현상유지 시나리오(BAU: business-as-usual)'[106]와 기후변화로 인한 해양생태계 변화, 미-중 무역마찰로 인한 항만 물동량 변화 등 일반적인 추세에서 벗어나는 특수한 상황을 전제로 하는 '상황 시나리오(case scenarios)'를[107] 설정하여 각각 시뮬레이션 분석 결과를 비교하여 상황에 따른 정책 효과의 변화를 파악한다.

105) 염동열(2012), pp. 7-8.
106) 기준 시나리오(baseline scenario)라고도 함
107) 대상 시나리오(target scenario)라고도 함

자연환경 맥락에서 적용할 수 있는 상황은 기후변화로 인한 해양 환경 및 생태계의 변이(ecological variation), 코로나(COVID-19) 팬데믹으로 인한 관광산업의 위축 등에 대한 시나리오를 설정할 수 있다. 인문환경에서는 해상풍력발전단지 입지로 인한 해양공간의 변화, 우크라이나 사태로 인한 글로벌 공급망 위기 등에 대한 상황 시나리오를 적용할 수 있다. 따라서 미래 특수한 상황에서 자연 혹은 인문환경의 변이로 인해 해양공간계획 제도의 영향이 어떻게 변화되는지를 살펴볼 수 있다. 상황 시나리오에 근거한 해양공간계획 시뮬레이션 분석은 미래의 불확실한 정책환경에서 해양공간정책 수단의 대응력을 평가할 수 있는 과학적 도구로서 역할을 한다.

- **자연환경 상황 시나리오 사례**
  - 기후변화로 인한 해양환경·생태계 변이
  - 코로나바이러스 팬데믹으로 인한 관광산업의 위축
- **인문환경 상황 시나리오 사례**
  - 해상풍력발전단지 입지로 인한 해양공간 변화
  - 우크라이나 사태로 인한 글로벌 공급만 위기

제3절 행위자기반모형의 구성요소 정의

1. 행위자 및 환경 정의

1) 행위자

ABM의 행위자는 대상 시스템을 구성하는 기본 단위이며, 각자의 목적에 따라 자율적으로 행동하고, 상황에 따라 다른 행위자 혹은 환경과 상호작용하는 객체이다. 본 연구에서 해양공간계획 제도(특히, 해양용도구역)의 정책 효과를 시뮬레이션하기 위해 설계·구축한 ABM은 각 용도구역(9개)의 이용 주체별로 행위자 그룹을 구성하고 있다.

가. 어선

어업활동보호구역의 활동 주체인 어민(fishermen) 혹은 어선(fishing vessels)의 사전적 정의[108]는 각각 '물고기 잡는 일을 직업으로 하는 사람', '고기잡이를 하는 배'로, 둘 다 '물고기(어류)를 잡는 행위'를 포함하고 있다. 따라서 이들은 생계(livelihood)를 목적으로 어류를 잡는 행위(fishing)로 규정할 수 있다. 여기서 생계는 소득(income)과 관련되므로 '소득을 목적으로 어류를 잡는 행위'로 어민 혹은 어선을 정의할 수 있다. 결과적으로 본 연구의 어민(혹은 어선) 유형의 행위자 그룹은 소득을 목적으로 어류를 잡는 행위로 설정한다. 본 연구는 모형의 단순화를 위해 다양한 어업 방식을 고려하지 않고, 가장 보편적인 어업 방식을 전제로 한다. 또한, 이 그룹은 어획 행위의 경쟁자로서 동일 유형의 다른 행위자(other agents), 잡는 행위의 대상으로써 어류(fishes), 그 밖에 한정된 해양공간에서 공간적 상충 가능성을 내포하는 다른 유형(목적)의 행위자 그룹(낚시어선, 무역선 등) 등과 상호작용한다.

108) 표준국어대사전(검색일: 2022.9.14.)

나. 유어선

해양관광구역은 해양을 직·간접적으로 이용하거나 이와 연관된 관광행위를[109] 가리키는 해양관광(marine tourism)을 다니는 사람(관광 수요자) 혹은 관광행위를 위한 서비스를 제공하는 자원·시설(관광 자원) 등을 행위주체로 포함한다. 따라서 관광의 사전적 정의[110]에 기초해 기분 전환이나 여가(leisure)를 목적으로 관광 자원을 이용하는 해양관광 수요자를 행위자로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 관광 활동의 공간적 변화(선택)가 비교적 분명하고, 유어선(fishing boats) 등 관련 데이터의 접근이 수월한 유어낚시(recreational fishing)를 대상으로 분석을 수행하였다. 또한, 여가를 목적으로 유어 낚시를 하는 유어선을 해양관광구역에 해당하는 대표적인 행위자로 선정하였다. 유어선 그룹은 낚시 행위의 대상으로, 어류 그리고 다른 유형의 경쟁 행위자와 상호작용한다.

다. 상선

항만·항행구역에 해당하는 개체는 상업적인 목적으로 화물이나 승객을 운송하는 상선(commercial vessels)으로, 다시 화물을 운송하는 화물선(freight vessels)과 승객을 수송하는 여객선(passenger ships)으로 구분한다. 상업적인 행위의 목적은 이윤을 추구하는 것으로, 수입에서 지출을 뺀 나머지 순이익을 최대화하는 활동이다. 일반적으로 상선의 수입 규모는 화물량이나 승객수에 비례하고 지출 규모는 통항 거리에 비례하므로, (최대) 수송량이 한정된 상선의 경우 항해 거리를 가능한 단축하는 것이 이윤을 추구하는 방법이다. 본 연구는 대상 해역의 무역항을 입·출항하는 대규모 상선을 행위자로 설정하여 항해의 기점과 종점을 연결하는 가능한 최단 항해 거리(shortest distance route)를 탐색하도록 한다. 상선 그룹은 좁은

109) 김성귀(2013), pp. 28-49.
110) 주로 기분 전환이나 여가를 목적으로 떠나는 여행(위키백과, 검색일: 2022.6.13.)

항로에 선박이 밀집하면 충돌로 인한 안전사고의 가능성이 있으며, 항해 중 소음이나 환경오염으로 인해 생태계에 부정적인 영향을 줄 수 있다.

〈표 4-2〉 행위자 유형과 목적, 주요 활용

용도구역	행위자	목적	주요 활동
어업활동보호구역	어선	생계 소득	어장 선택, 조업 활동
해양관광구역	유어선	여가	낚시터 선택, 낚시 활동
항만·항행구역	상선	화물 및 여객 수송	항로 선택, 항해 활동

자료: 저자 작성

2) 환경

ABM의 환경은 대상 시스템의 행위자가 활동하는 공간을 정의하며, 행위자와의 상호작용 여부에 따라 추상적(abstract) 혹은 실체적(actual) 환경으로 구분한다.[111] 전자는 행위자와 환경 간에 어떠한 상호작용이 없으며, 단순히 활동 공간으로서 환경 상태에 대한 별다른 속성이 부여되지 않는다. 후자는 행위자와 환경 간에 지속적인 상호작용이 발생하며, 상호작용에 따라 환경의 상태가 변하므로 상태 속성을 부여한다.

본 연구의 ABM은 해양에서 발생하는 다양한 활동을 위한 공간으로써 래스터(격자) 방식으로 환경을 설정하며, 각 격자에 어류생태계(어족자원) 개념을 적용하여 앞서 행위자 그룹(어선, 유어선, 상선)과 상호작용하도록 모델링하므로 실체적 환경에 해당한다. 따라서 환경은 행위자의 활동 공간이자 어류생태계로서, 행위자와의 교류를 통해 속성, 즉 어류생태계의 상태(현황)가 변화하도록 모형을 설정한다. 추후 해양공간의 어류생태계 외에

111) 김동한 외(2014), p. 22.

기상·기후, 수온, 수심 등이 해양 이용에 영향을 미칠 수 있는 해양환경의 다양한 특성을 ABM의 환경에 적용할 수 있도록 연구가 필요하다.

〈표 4-3〉 ABM의 환경 설정

유형	구현 방식	속성
실체적 환경	래스터(격자)	어류생태계 상태(현황)

자료: 저자 작성

2. 행위자 및 환경 속성 정의

ABM의 구성요소인 행위자와 환경은 행위자의 고유한 속성과 환경의 상태를 규정하여 속성(attributes)을 나타낸다. 본 연구의 행위자 그룹은 어선, 유어선, 상선으로 구성되며 환경은 어류생태계로서 설정하며, 행위자 및 환경의 속성은 다음과 같다.

1) 행위자 속성

가. 어선

어선 그룹의 행위자 속성은 어획량, 어획 능력, 어획노력량, 수입 및 경비, 어장 위치, 선적항, 정책 수용도를 포함한다. 어획량은 어획 활동에 따른 결과물로, 주요 어종의 어획량(마리)으로 정의하며, 어종별 시장가격에 따라 어선별 소득을 결정한다. 어획 능력(fishing capacity)[112]은 어선별 어획량 및 최대 어획량을 결정하는 속성으로, 어획 능력은 어구, 어선의 형태 등 단순한 방식부터 자료포락분석(DEA: Data Envelopment

112) 주어진 여건에서 조업 활동에 대한 제약이 없는 경우 일정 기간 어선이 산출하는 최대 생산량

Analysis)와 정점비교법(PTP: Peak-To-Peak) 같은 복잡한 방식까지 다양한 방법으로 측정할 수 있다.[113] 본 연구는 모형의 단순화와 가용 자료를 토대로 어선의 규모(톤)라는 단순한 방식으로 어획 능력을 설정한다. 어획노력량(fishing efforts)은 수산자원 관리정책의 중요한 변수로 어선 척수, 항해 수, 어구 수 등으로 측정할 수 있으며, 일반적으로 어선 척수로 어획노력량을 산출한다.[114] 본 연구에서 어선별 어획노력량은 어획 능력과 함께 조업 활동에 따른 어획량과 어장을 선택하는 변수로 분석 기간에 조업을 위한 항해 거리를 합산하여 산출한다.

소득 및 지출은 각각 조업에 따른 수입과 경비로 산출한다. 본 연구에서 수입은 어획물의 판매로 얻는 이익을, 경비는 조업을 위한 인건비, 유지보수비, 연료 및 유류비 등 여러 항목 중 어장 선택에 따라 변동성이 큰 연료비를 산출하여 모형에 적용한다. 그밖에 실제 조업 활동을 수행하는 어장의 위치를 모델링 환경을 구성하는 격자의 위치정보(위도, 경도)를 통해 정의하며, 어장 위치는 어선별 항해 거리와 연료비를 계산하는 데 활용한다. 선적항은 각 어선이 등록된 어항을 가리키며, 마찬가지로 항해 거리를 산출할 때 어장 위치와 함께 이용된다.

마지막으로 정책 수용도(policy acceptance)는 관련 시나리오 구성을 위한 행위자 속성으로 해양공간계획 제도(용도구역)에 따른 대상 집단의 태도나 행동의 변화 정도를 가리킨다.[115] 따라서 정책 수용도가 높은 어민(어선)일수록 어업활동보호구역 내지는 용도구역이 지정되지 않은 공간에서 주로 조업하게 된다. 본 연구는 정책 수용도를 어선별 속성으로 적용하여 시나리오에 따른 해양공간계획 제도의 영향을 분석하는 데 활용한다.

113) 이정삼·신영태(2006), pp. 19-22.
114) 최지훈 외(2018), pp. 335-336.
115) 박경순(2014), pp. 8-11.

나. 유어선

유어선 그룹의 행위자는 어획량, 여가 만족도, 경비, 낚시터, 선적항, 정책 수용도를 속성으로 정의한다. 먼저 어획량은 낚시 행위로 얻는 어종의 수량(마리)으로 산출한다. 여가 만족도는 낚시 행위로 얻게 되는 최종 산출물로, 어획량에 비례해서 증가하며, 만족도가 높은 낚시터는 다른 낚시터에 비해 선택될 확률이 높아진다. 유어선의 경비는 어선과 마찬가지로 낚시터와 선적항을 오가는 유어 활동에 필요한 연료비를 계산하여 적용한다.

낚시터는 유어 활동을 하는 장소로 모형 환경에서 격자의 위치정보(위도, 경도)로 정의한다. 선적항은 유어선이 등록된 어항을 뜻하며, 마찬가지로 위치정보를 가지고 있다. 마지막으로 정책 수용도는 어선 그룹과 유사하게 정책 수용도가 높은 유어선은 주로 해양관광구역이 지정된 공간이나 미지정 공간에서 유어 활동을 시행한다.

다. 상선

상선 그룹의 행위자는 규모, 기점·종점, 항로, 수입 및 경비, 정책 수용도를 속성으로 설정한다. 규모는 선박의 크기(톤수)를 나타내는 것으로, 화물(혹은 승객)의 적재량과 비례한다. 기점과 종점은 선박이 최초 출발하거나 최종 도착하는 지점(항구)으로 위치정보(위도, 경도)를 저장한다. 항로는 선박이 기점에서 출발해 종점으로 향하는 해상경로를 가리키며, 지형 및 지물, 수심, 선박 통항량 등을 고려하여 항로를 결정한다. 각 선박의 항로 속성은 선형 개체로 표현하며 선을 연결하는 좌표의 위치정보를 정의한다. 상선 행위자의 수입은 화물을 목적지에 운송하여 발생하는 이익이며, 경비는 다른 행위자 그룹(어선, 유어선)과 마찬가지로 운항 거리와 운송비 단가를 적용해 산출한다. 정책 수용도는 다른 행위자 그룹의 속성과 동일하게 항만·항행구역 및 기타 용도구역에 적용한다.

2) 환경 속성

본 연구에서는 ABM의 환경을 행위자의 활동 공간이자 어류생태계로 정의하고 있으며, 이 환경은 자원량, 자연증가율, 자연감소율, 개체군 밀도 등의 속성을 포함한다. 우선 자원량은 해양공간에 분포하는 어종별 개체수의 분포를 나타내는 것으로, 수산학 등 관련 분야에서 단일 어종(고등어 등)에 대한 모델을 개발하는 연구가 진행되고 있다. 그런데도 자원량 추정의 대상이 일부 정착성 어종(가자미, 대구 등)에 한정되며, 이동 반경이 큰 회유성 어종(고등어, 삼치 등)은 자원량 추정을 위해서 정교한 데이터와 복잡한 모델링 과정이 요구된다. 이러한 이유로 격자별 수산 자원량을 대체할 수 있는 단위 노력 당 어획량(CPUE: Catch Per Unit Effort, 이하 'CPUE') 개념을 적용하고자 한다. CPUE는 총어획량을 총어획노력량으로 나눈 값으로, 자원량 평가지표로 활용될 수 있다.[116] 따라서 본 연구는 격자별 총어획량과 총어획노력량을 산정하여 CPUE를 계산하고, 그 계산 결과를 이용해 모형 환경의 격자별 어종의 자원량 속성을 정의한다.

어류생태계의 속성 중 자연증가율과 자연감소율은 각각 단위 기간에 외부의 영향이 없이 어종별 개체 수가 자연적으로 증가하거나 감소하는 비율을 나타낸다. 자연증가율은 일반적으로 산란으로 증가하는 개체 수 변화율을 정의한다. 앞서 동일 공간에서 활동하는 행위자가 많을수록 자연증가율은 감소하며, 이동에 의한 개체 변화는 고려하지 않는다. 자연감소율은 개체별로 정해진 수명에 도달하여 개체 수가 자연적으로 감소하는 비율을 나타내며, 외부 영향이 없는 상태를 가정한다. 마지막으로 개체군 밀도는 단위 면적당 개체 수를 나타내며, 개체군 밀도가 높을수록 한정된 서식지에서 먹이와 생활공간의 부족으로 자연감소량이 증가하게 된다.

116) KISTEP(2015), pp. 60-61.

〈표 4-4〉 환경 속성 목록

환경	속성	정의	비고
어류생태	자원량	어종별 개체 수 분포	CPUE
	자연증가율	산란에 의한 개체 증가율	
	자연감소율	개체 사망에 따른 감소율	
	개체군 밀도	단위 면적당 개체 수	

자료: 저자 작성

3. 의사결정 규칙 정의

ABM을 구성하는 행위자의 의사결정 규칙은 행위자 고유의 행동 및 상호작용 특성을 반영하며, 시뮬레이션의 선택 시점에서 행위자는 속성과 상황을 고려하여 이 규칙에 따라 행동하거나 상호작용한다. 본 연구는 모델에 적용할 의사결정 규칙을 명확하게 설명하기 위해서 인과지도(causal loop diagram)를 활용하여 행위자의 행위와 상호작용에 대한 상호규칙에 대한 개념도를 작성하였다. 시스템 사고(system thinking)에 기초한 인과지도는 해양공간과 같은 비선형적인 시스템에서 현상의 상호관계를 개념화하는데 적합한 수단이다.[117]

1) 행위자 의사결정 규칙

가. 어선

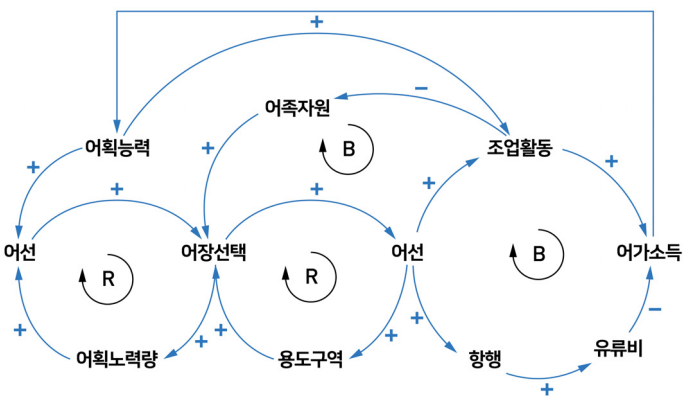
어선 그룹의 주요 활동은 조업을 위해 어장(fishing ground)을 선택하는 것으로, 모형에서 어장 선택에 대한 규칙을 정의한다. 어장을 선택하는데 필요한 고려사항은 어획 능력, 수산자원, 운항 거리, 용도구역이 포함된

117) Haraldsson(2004), p. 20.

다. 수산 자원량은 절대적인 어획량을 결정하므로 가능한 자원량이 많은 어장을 탐색하며, 다만 운항을 위한 경비를 고려하여 선적항으로부터 거리가 가까운 어장을 선택한다. 어선별 누적 운항 거리로 산정하는 어획노력량은 어선별 어장에 대한 정보량을 대변하며, 자원량이 많은 좋은 어장을 탐색할 확률을 결정한다. 정책 수용도는 어장 선택 시에 어업활동보호구역 혹은 기타 용도구역을 얼마나 고려할 것인지에 대한 요소로, 높은 정책 수용도는 조업을 권장하는 어업활동보호구역 또는 다른 이용행위와 상충 가능성이 낮은 공간을 어장으로 선택한다.

- 어장 선택 = {어획 능력, 운항 거리(유류비), 어족자원, 용도구역}

〈그림 4-12〉 어선 행위자의 활동 규칙: 인과지도



자료: 저자 작성

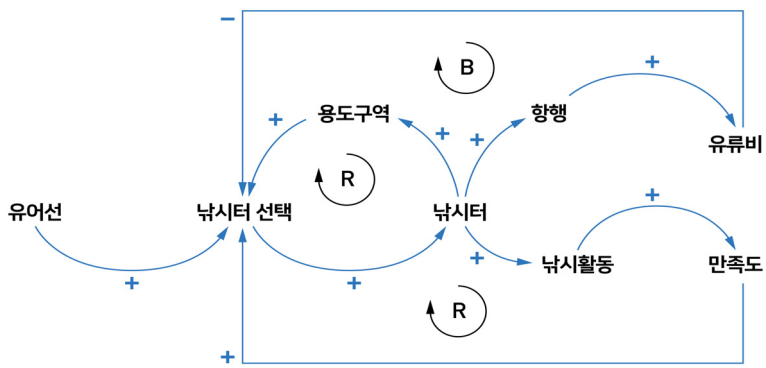
나. 유어선

유어선 그룹은 낚시터(a fishing spot)를 선택하는 행위의 규칙을 정의한다. 유어선이 낚시터를 결정하는데 여가 만족도, 운항 거리, 용도구역을 고려한다. 여가 만족도는 유어 낚시를 통해 얻는 산물로, 만족도가 높은 낚

시터는 유어선에 의해 선택될 확률이 높아진다. 반면 운항 거리가 멀수록 경비가 증가하므로 만족도가 비슷한 경우에는 가까운 낚시터를 선호하게 된다. 마찬가지로 해양공간 관리제도에 대한 행위자의 정책 수용도에 따라서 어장 선택 시에 용도구역을 함께 고려한다. 정책 수용도가 높은 유어선은 해양관광구역 혹은 타 용도구역을 검토하여 낚시터를 결정하게 된다.

- 낚시터 선택 = {만족도, 운항 거리(유류비), 용도구역}

〈그림 4-13〉 유어선 행위자의 활동 규칙: 인과지도



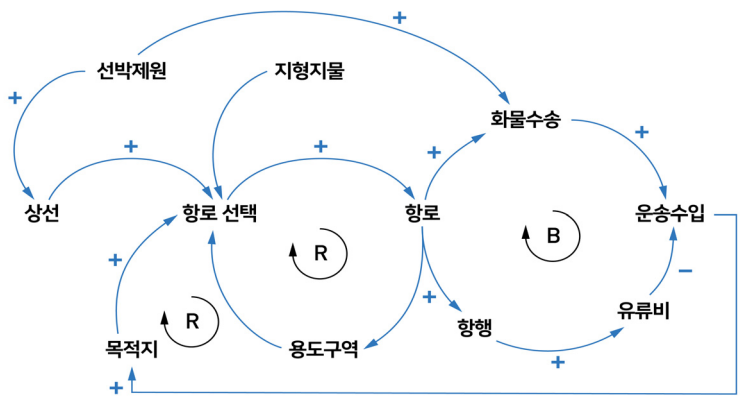
자료: 저자 작성

다. 상선

출발지와 목적지를 연결하는 상선의 항로를 선택하는 규칙은 다음과 같이 설정한다. 항로 선택하는 과정은 운송을 위한 기점과 종점의 위치를 기준으로 두 지점을 연결하는 최단 경로(shortest distance route)를 우선 설정하고, 안전사고를 예방하기 위해서 최단 경로 상에 위치하는 지형 혹은 지물을 우회하도록 경로를 수정한다. 해양공간계획 제도에 대한 상선의 정책 수용도가 높은 경우, 항만·항행구역 혹은 타 용도구역을 검토하여 항로를 결정하게 된다.

▪ 항로 선택 = {목적지, 선박제원, 지형지물, 용도구역}

〈그림 4-14〉 상선 행위자의 활동 규칙: 인과지도



자료: 저자 작성

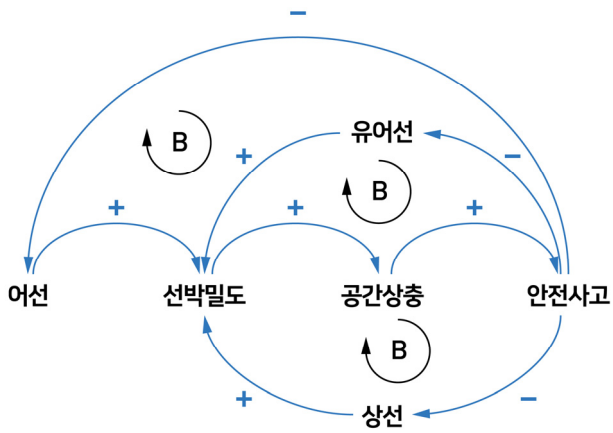
2) 행위자 간, 행위자와 환경 간 상호작용 규칙

가. 행위자 간 상호작용

본 연구의 시뮬레이션 과정에서 어선과 유어선, 상선 행위자 사이에 발생할 수 있는 상호작용은 특정 공간에서 선박 밀집도가 높은 경우에 선박 충돌로 인한 안전사고가 발생하는 것이다. 따라서 ABM의 환경을 구성하는 공간 단위(격자)별로 선박 현황(척수)을 모니터링하여 안전사고의 발생 확률을 산출할 수 있다.[118] 이를 이용해 정책대안 시나리오에 따른 행위자의 행태 및 환경변화뿐만 아니라 그로 인한 안전사고의 영향을 파악할 수 있다.

118) 안전사고 발생 확률

〈그림 4-15〉 행위자 간 상호작용 개념도: 인과지도

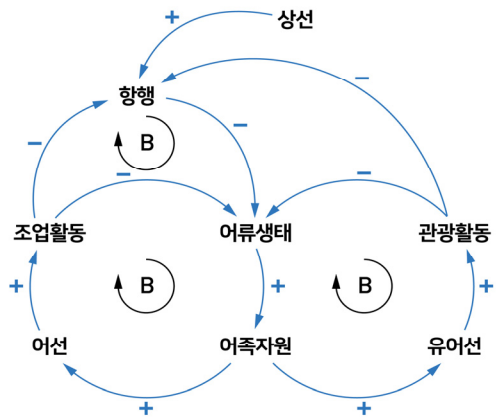


자료: 저자 작성

나. 행위자와 환경 간 상호작용

행위자와 환경 사이의 상호작용은 다음 규칙에 따라 ABM에서 정의한다. 어선과 유어선은 직접적인 조업 및 유어 활동으로 인해 환경의 속성인 자원량에 영향을 주며, 상선은 항해 중에 발생하는 소음, 환경오염 등으로 어류 개체의 자연증가율에 부정적인 영향을 미친다. 또한, 어류생태계는 어선과 유어선의 어획 대상으로 어족자원을 제공하게 된다. 따라서 이용행위로 인한 어류생태계의 부정적인 영향을 결국 어족자원량의 감소로 이어져 어선과 유어선의 어획량 감소로 이어진다.

〈그림 4-16〉 행위자-환경 간 상호작용 개념도: 인과지도



자료: 저자 작성

제4절 행위자기반모형의 구축 및 검증 방안

1. 모형 개발 방법

ABM의 구축을 위해서는 통상적으로 ODD(Overview, Design concepts, and Details) 프로토콜을 작성한 후, ODD 프로토콜을 기반으로 모델링 도구를 활용하여 ABM을 구축하게 된다.

1) ODD 규약

ODD 프로토콜은 ABM의 재사용성을 높이기 위하여 제안된 모형에 대한 문서화된 가이드라인을 가리킨다.[119] ODD는 개괄(Overview), 디자인

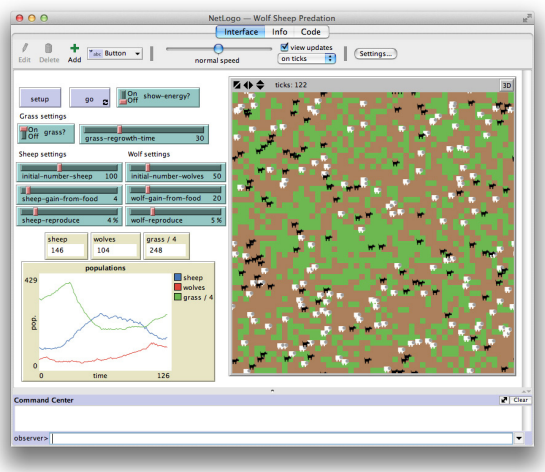
119) Grimm et al.(2006), pp. 117-119.

콘셉트(Design Concept), 상세(Details)로 구성되어 있으며, 이미 구축된 ABM의 ODD를 참고하여 특정 주제에 대해서 모형을 어떻게 구축해야 할 것인지에 대해서 이해할 수 있다. 다만, ODD 요소의 모든 부분이 모형에 포함될 필요는 없다.

2) 모델링 도구

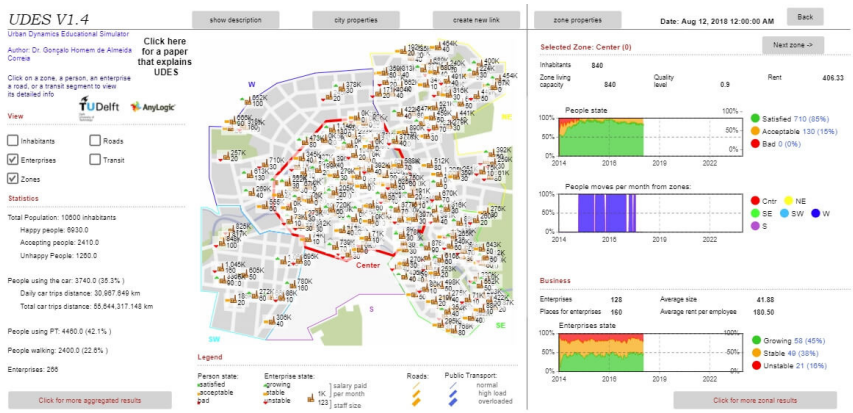
ABM을 구축하기 위해서 C++, JAVA, Python, R과 같은 프로그래밍 언어를 이용하기도 하지만, 일반적으로는 ABM 개발 플랫폼을 활용한다. ABM 개발 플랫폼 중에 가장 널리 활용되는 소프트웨어는 Netlogo와 AnyLogic 등이 있는데, 전자는 가장 널리 활용되고 있는 무료 프로그램이며, 후자는 상용 프로그램이다. 이러한 모델링 도구를 활용하게 되면 GUI 환경에서 ABM을 구축할 수 있다.

〈그림 4-17〉 NetLogo 화면



자료: NetLogo 홈페이지(검색일: 2022.6.12.)

〈그림 4-18〉 AnyLogic 화면



자료: AnyLogic 홈페이지(검색일: 2022.6.12.)

2. 모형 검증 및 타당성 분석

1) 모형 검증

가. 모형 내부 구조의 검증

본 연구에서 개발된 행위자기반 시뮬레이션 모형을 검증하는 방법의 하나는 모형 내부에서 사용되는 개별 변수의 시공간적 분포를 비교하는 것이다. 예를 들어 어업활동 시뮬레이션 과정에 사용되는 특정 변수 X (예, 어족자원)의 경우, 기준 시점 t 이전의 관측값이 이미 존재한다면, $t-d$ 시점에서 시뮬레이션을 시작하여 $f(x)$에 도출되는 예측값이 실제 값과 어느 정도 일치하는지 확인할 수 있을 것이다.

$$\text{예측값: } \left\{\hat{x}_{(t-d)}, \hat{x}_{(t-d+1)}, ..., \hat{x}_t\right\}$$
$$\text{실제 값: } \left\{x_{(t-d)}, x_{(t-d+1)}, ..., x_t\right\}$$

[식 4-1] 모형 내부 구조의 검증식

이러한 과정을 통해 시뮬레이션 내부의 개별 변수 $X_1, X_2, ..., X_n$의 시공간적 분포를 최대한 정확하게 재현할 수 있는 예측 함수를 도출한다면, 이를 조합한 시뮬레이션 결과 또한 타당하다고 가정할 수 있을 것이다.[120]

나. 시뮬레이션 결과의 검증

시뮬레이션 모형의 정확도를 보다 직접적으로 검증하기 위해서는 모형에서 산출된 결과를 분석해야 한다. 예를 들어 어업활동 시뮬레이션에서 도출되는 예측 변수가 어선 수 Y라면, 이미 관측된 어선 수 $\left\{y_{(t-d)}, y_{(t-d+1)}, ..., y_t\right\}$와 예측값을 비교하여 시뮬레이션 모형의 정확성을 검증할 수 있다. 관측값(y)과 예측값($\hat{y}$)의 비교에는 표준화된 평균제곱근오차(SRMSE: Standardized Root Mean Square Error)을 사용할 수 있으며, 0에 가까울수록 정확한 것으로 볼 수 있다.

$$SRMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{(y_i - \hat{y_i})^2}{n}\right)} / \frac{\sum y}{n}$$

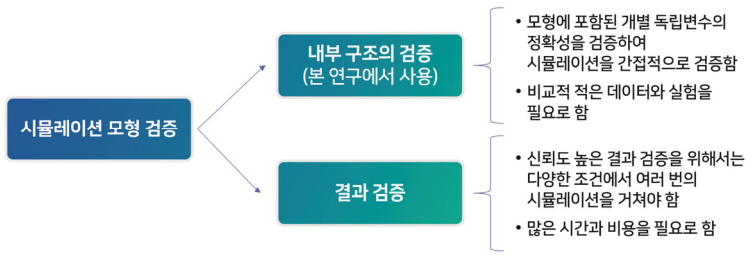
[식 4-2] 제곱평균제곱근(SRMSE) 산출식

시뮬레이션 결과를 토대로 모형을 검증하고 보정하는 것은 현실적 한계가 있다. 행위자기반 시뮬레이션의 결과는 여러 내부 변수의 복합적 작용으로 결정되기 때문에, 낮은 정확도의 요인 또한 다양할 수 있다. 따라서

120) Grimm et al.(2005), pp. 988-989; Kang & Aldstadt(2019), pp. 2-3.

정확한 보정을 위해서는 하나 이상의 시나리오에 기반한 예측 결과와 이에 대응하는 관측값이 필요하다. 그러나 현실 세계에서 여러 시나리오에 대응하는 관측값을 확보하는 것은 매우 어려우며, 따라서 결과에 기반한 검증 또한 한계를 갖는다. 모형 내부 구조의 검증을 중심으로 보정을 진행하며, 예측 결과의 검증은 가용한 데이터 범위 내에서만 수행할 것이다.

〈그림 4-19〉 모형 검증 방법 및 장단점



자료: 저자 작성

2) 타당성 분석

가. 공간분석

행위자기반 시뮬레이션 모형에서 도출된 예측 결과는 하나의 실현 가능한 미래로 볼 수 있으며, 항상 일정 수준의 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 행위자기반 시뮬레이션의 결과는 그 자체를 기술적으로 받아들이는 것보다, 통계적으로 해석하고 이해하는 것이 중요하다. 특히 시뮬레이션 예측 결과에 공간통계 기법을 적용한다면, 해양공간에서 특정 이용행위의 확산이나 축소, 이동 등을 정확하게 탐지하는 데 유용한 역할을 할 수 있다.

국지적 통계량(Getis-Ord's Local G)은 특정 현상을 공간 단위로 집계해 현상의 발생빈도가 높은 공간의 국지적 군집을 검정하기 위한 공간통계 방법이다.[121] 관심 지역과 주변 지역의 지푯값이 모두 큰 경우 Hotspot으

로, 주변 지역의 지푯값이 모두 작은 경우 Coldspot으로 분류된다. 이때 국지적 통계량은 z-score로 도출되는데, 1.96 이상이면 95% 신뢰수준에서, 1.64 이상이면 90% 신뢰수준에서 해당 지역과 주변 지역의 특정 지표가 모두 큰 값을 갖는 Hotspot으로 간주하며, 그 값이 클수록 군집 정도가 높다고 할 수 있다. 반대로 z-score가 -1.96 이하의 경우에는 95% 신뢰수준에서, -1.64 이하인 경우에는 90% 신뢰수준 해당 지역과 주변 지역의 특정 지표가 모두 작은 값을 갖는 Coldspot을 의미한다.

어획량이나 어선 수, 해양관광 만족도 등 대부분의 예측 변수는 공간적 자기상관성 분석을 통해 큰 값이나 작은 값이 밀집한 해역을 탐색할 수 있다. 국지적 통계량은 양(陽)의 값을 갖는 변수에 적용할 수 있는 가장 일반적인 측도 중 하나로 다음과 같이 정의된다.[122] [식 4-3]에서 x_j는 격자 j의 예측값, $w_{i,j}$는 격자 i와 j 사이의 공간가중치를 의미한다.

$$G^*_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}x_j - \overline{X}\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}}{S\times\sqrt{\frac{\left[n\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}\right)^2\right]}{n-1}}}$$

$$\overline{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j}{n} \qquad S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n} - (\overline{X})^2}$$

[식 4-3] 공간적 상관분석(국지적 통계량 G) 산출식

선박사고와 같이 발생빈도 자체가 극히 낮은 예측 변수는 공간적 자기상관성 분석을 통해 유의미한 결과를 얻기가 어렵다. 따라서 이러한 변수는 값의 크고 작음보다, 사고의 발생 여부에 초점을 맞춘 탐색기법이 유용할

121) Getis & Ord(1992), pp. 189-190.
122) Ord & Getis(1995), pp. 286-306.

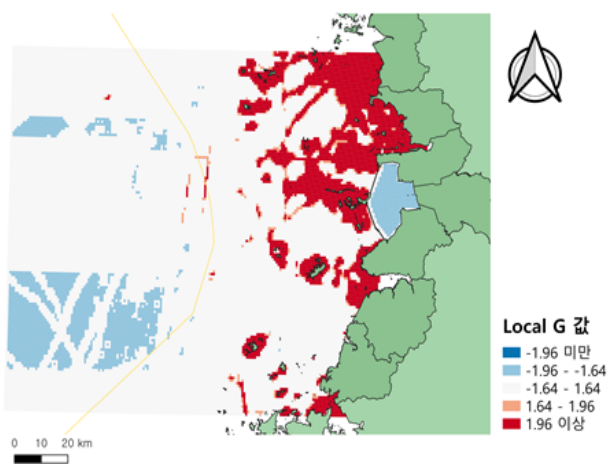
수 있다. 예를 들어, 우선 사고가 특정 확률 프로세스(포아송 분포 등)에 따라 무작위로 발생하는지 판단한 후 그 결과에 따라 다양한 군집 탐색 법을 적용할 수 있을 것이다. 본 연구는 다음과 같은 지표를 통해 사고의 무작위성을 우선 확인하고, 공간 역학 분야에서 주로 활용되는 스캔 통계(VMR: Variance-to-Mean Ratio)를 사용하여 위험 지역을 탐색한다.[123]

$$VMR = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

[식 4-4] 현상의 무작위성 측정지수

만약 각 격자의 연간 선박사고 수를 나타내는 확률변수 X가 포아송 분포를 따른다면, $\mu = \sigma^2$이므로 상기 지표는 1이 될 것이다. 따라서 지표가 1에 가까울수록 선박사고가 무작위로 발생한다고 볼 수 있으며, 1에서 멀어질수록 특정한 공간적 군집을 이룰 확률이 높다.

〈그림 4-20〉 국지적 G 통계량 실행 예시



자료: 저자 작성

123) Frome(1982), p. 67.

나. 누적영향평가

누적영향은 특정 행위가 자원의 분포, 생태계, 인간에 미치는 총체적 영향을 의미한다.[124] 최근 어업이나 관광, 자원 채취와 같은 인간의 활동이 생태계에 미치는 장기적 영향을 파악하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 고려한 정책 설정의 중요성도 점차 커지고 있다. 본 연구를 통해 도출한 시뮬레이션 결과를 누적영향분석에 활용한다면, 특정 용도구역의 지정이 환경에 미치는 영향을 선제적으로 파악하고 대처할 수 있을 것이다. 인간 활동이 생태계에 미치는 영향을 정량적으로 점수화하는 방법 중 대표적인 것은 다음 지표를 이용하는 것이다.

아래 지표에서 D_i와 E_j는 각각 위치 i에서 이루어지는 인간 활동의 값과 위치 j의 해양생태계 존재 여부를 의미한다. u_{ij}는 일종의 거리 조락 가중치로 위치 i에서 일어나는 활동이 위치 j에 미치는 영향을 나타내며, 일반적으로 두 지점 간 거리가 멀어질수록 0에 수렴하게 된다.

$$I_C = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (D_i \times E_j \times u_{i,j})$$

n : 인간 활동, m : 해양생태계

D_i : 위치 i에서 인간 활동 값 $(0 < D_i < 1)$

E_j : 해양생태계 j의 존재 유무 (유: $E_j = 1$, 무: $E_j = 0$)

$\mu_{i,j}$: 위치 i에서 해양생태계 j에 대한 영향 가중치 $(0 < \mu_{i,j} < 4)$

[식 4-5] 누적영향지수 기본 산출식

본 연구는 시뮬레이션 산출물 양식에 맞춰 제시된 누적영향 산출방식을 사용하였다. 변경된 누적영향지수(II_c)는 격자별 어족자원의 존재 여부와

124) Choi et al.(2021), p.361.

어업(어선, F), 관광(유어선, T), 항행(상선, S)의 활동 강도에 따른 영향 정도로 산정한다. [식 4-6]에서 총활동량 D_i는 격자별 어선, 유어선, 상선의 수를 합산한 후 0~1 값으로 표준화하여 적용하고, 어족자원의 존재 유무 여부 E_j는 격자별 자원량 분포의 상위 75%에 포함되는 경우 1, 하위 25% 경우에 0 값을 적용하며, 가중치 $\mu_{i,j}$은 모든 격자에 같은 값을 적용한다.

$$II_c = D_i \times E_j \times \mu_{i,j}$$

D_i : 격자 i에서 총활동량($F+T+S$)을 표준화한 것 ($0 < D_i < 1$)
E_j : 전체 어족자원 j의 존재 여부 (유: $E_j = 1$, 무: $E_j = 0$)
$\mu_{i,j}$: 위치 i에서 어족자원 j에 대한 영향 가중치 ($\mu_{i,j} = 1$)

[식 4-6] 본 연구의 누적영향지수 산출식

새로운 산출식을 적용한 누적영향지수는 격자별로 산출하여 지도로 나타낼 수 있다. 산출된 누적영향지수를 지도로 나타낸다면 용도구역 지정으로 인해 발생하는 인간 활동이 생태계에 미치는 영향을 손쉽게 파악할 수 있고, 이는 합리적이고 생태계 친화적인 정책 수립에 기여할 것이다.

다. 해양공간상충분석

해양공간의 상충(相衝)은 서로 양립할 수 없는 이용행위가 같은 공간에서 동시에 이루어질 때 발생한다. 해양공간상충분석은 특정 이용행위와 상충이 가장 적게 일어나는 해역을 정량적으로 파악하기 위한 분석법으로, 해양공간의 효과적 관리를 위한 핵심적 도구가 된다. 행위자기반 시뮬레이션 모형을 활용하여 특정 이용행위의 활동량을 예측하고 이를 토대로 상충분석을 수행한다면, 합리적이고 객관적인 정책 수립을 이끌 수 있다. 상충분석은 격자 단위의 분석 방법으로, 전체 해역을 일정 크기의 격자로 구획한

후 각 격자 내에서 발생하는 이용행위 간 상충 정도를 측정하게 된다. 따라서 상충분석 결과는 격자의 크기에 큰 영향을 받으며, 분석 수행에 앞서 이를 정교하게 설정하는 것이 중요하다.

남정호(2021)에 따르면, 상충지수는 특정 해양공간(격자)에서 상충하는 두 행위 간 상충계수와 각 행위의 상대적 가치 및 면적 비중을 적용하고, 그 계산 결과를 모두 합산하여 상충지수를 산출하는 방식이다. [식 4-7]에서 두 행위 간 상충계수는 다음의 상충계수행렬에서 참고하여 적용한다.

$$\sum_{n=1}^{30} C_{i,j} \times (V_i \times a_i + V_j \times a_j)$$

$C_{i,j}$: i, j 행위 간 상충 계수

V_i : i 행위의 상대적 가치지수(0~1 사이의 정규값)

a_i : i 행위의 격자 내 면적의 비중

[식 4-7] 누적영향지수 산출식

〈표 4-5〉 해양공간 행위 간 상충계수행렬

용도구역	어업활동	골재·광물	에너지개발	해양관광	환경·생태	연구·교육	항만·항행	군사활동
어업활동								
골재·광물	0.95							
에너지개발	0.89	0.28						
해양관광	0.36	0.62	0.66					
환경·생태	0.39	0.97	1.00	0.41				
연구·교육	0.03	0.40	0.37	0.14	0.05			
항만·항행	0.72	0.56	0.52	0.45	0.55	0.30		
군사활동	0.67	0.54	0.50	0.79	0.53	0.47	0.73	
안전관리	0.27	0.31	0.32	0.34	0.04	0.00	0.40	0.44

자료: 남정호(2021). p. 169.

본 연구는 어업, 해양관광, 항만·항행, 환경·생태의 네 가지 행위에 대한 해양공간상충지수를 분석하기 위해서 아래 두 행위 간 상충계수행렬을 적용하여 어업, 관광, 항행, 환경생태 간 상충지수를 산출한다.

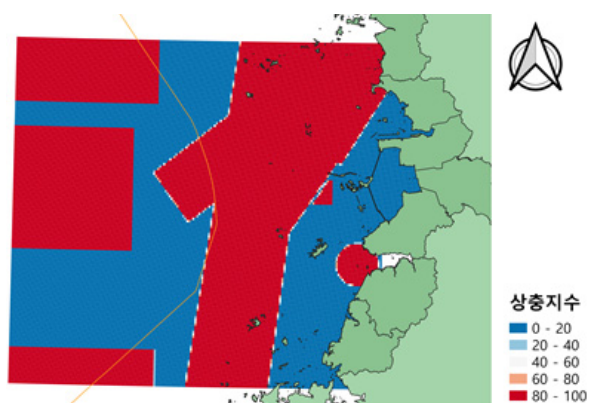
〈표 4-6〉 본 연구의 상충계수행렬

용도구역	어업활동	해양관광	환경·생태	항만·항행
어업활동				
해양관광	0.36			
환경·생태	0.39	0.41		
항만·항행	0.72	0.45	0.55	

자료: 저자 작성

단, 행위의 상대적 가치지수는 모두 1을 적용하고, 각 행위의 격자 내 면적 비중 대신에 연구지역의 격자 내 최대 선박 수에 대한 표준화 값(0~1)을 적용한다. 위 방식을 이용한 상충지수는 월별, 격자별로 산출하여 지도화(월별)와 시계열 도표(월별 평균치 및 분포의 변화) 및 그래프로 표현한다.

〈그림 4-21〉 상충지수 분석 예시



자료: 저자 작성

상충지수는 두 가지 이용행위 간 상충 정도를 종합적으로 나타낸 것으로, 각 격자에서는 이용행위별 상충지수를 행렬 형태로 확인하거나 지도로 시각화하여 탐색할 수 있다. 본 연구를 통해 개발한 행위자기반 시뮬레이션 모형과 상충분석을 연계한다면, 한정된 해양공간을 효율적으로 활용하고 집단 간 갈등을 최소화할 수 있는 정책 수립에 도움이 될 것이다.

〈그림 4-22〉 시뮬레이션 결과의 분석 방안



자료: 저자 작성

05
행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 적용·검증분석

제1절 시뮬레이션 사례 대상의 현황

본 연구는 해양공간계획 이행을 지원하기 위한 행위자기반 시뮬레이션 모형의 적절성과 적용 가능성을 평가하기 위해 사례분석을 수행한다. 시뮬레이션 모형의 사례지역은 해양공간관리계획을 수립한 11개 연안 광역지자체 중 전라북도이며, 전라북도 관할해역의 다양한 활동과 환경·생태를 대상으로 시뮬레이션 분석을 수행한다. 다른 지역과 비교해 조업 활동과 해양관광이 활발하고, 갯벌 등 환경·생태계 가치가 높은 공간이 넓게 분포하고 있을 뿐 아니라 새만금 간척사업, 해상풍력단지 등 새로운 이용개발로 인한 갈등이 높은 지역으로 해양공간계획 도입으로 인한 큰 변화가 예상된다. 이러한 이유에서 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성을 평가하기에 적합한 지역으로 판단하였다. 모형의 적용에 앞서 전북 해역의 자연과 인문 현황과 더불어 2022년 상반기에 수립된 용도구역을 포함한 관리계획 현황을 살펴보고자 한다.

1. 전북 해역의 일반 현황

가. 자연환경

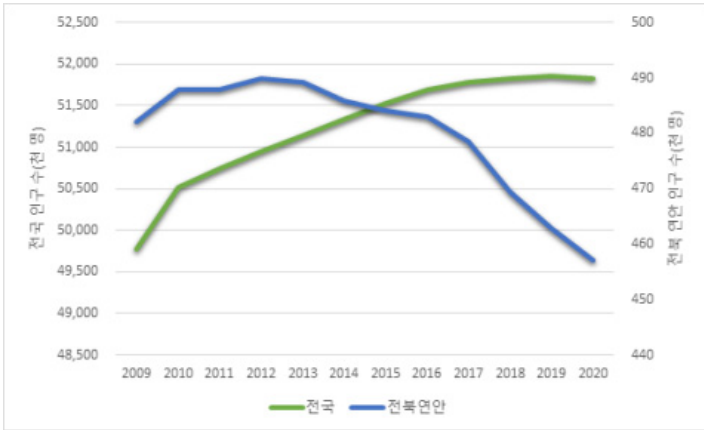
전라북도 해역의 면적은 항만구역(군산항)을 포함해 5,265㎢를 차지하며, 해안선의 길이는 약 550km로 전국 해안선 길이의 약 4%를 차지하고, 반도와 만이 연속하여 복잡하다.[125] 조석 차이가 크기 때문에 강한 조류가 발생하며, 일부 해역은 유속이 약하게 나타난다. 전북 해역에는 총 73개 유·무인도서가 위치하며, 관리 유형이 지정된 무인도서는 48개소가 존재한다.[126] 전북에는 부안·줄포만 갯벌과 고창 갯벌에 습지보호지역, 부안군 일원에 변산반도 국립공원이 각각 지정되어 있다. 선유도해수욕장 및 인근지역에 해양보호생물 흰발농게 서식지가 분포하며,[127] 해양환경측정망 해수 수질평가지수에 따르면 전북 해역의 수질은 양호하다.[128]

나. 인문환경

전북 연안(군산시, 김제시, 고창군, 부안군 포함)의 인구는 2020년 기준 약 45만 명으로 10년 전과 비교해 약 4% 감소하였다.[129] 전북 연안의 연평균 인구증감률은 -0.5%로 전국 0.4%보다 높은 감소세를 나타낸다. 2020년 기준 전북의 어업생산량은 약 8.3만 톤으로 전국 어업생산량의 2.6%를 차지하며, 전체 어업생산량 중 천해양식의 비중이 약 56%로 가장 많은 부분을 차지한다. 어종별 생산량은 2020년 기준 해조류가 52%로 가장 많고, 이어서 패류(26%), 어류(12%) 순으로 생산된다.[130]

125) 해양수산부·전라북도(2022), pp. 13-14.
126) *ibid.*
127) 국립생태원(2019)
128) 해양환경정보포털(검색일: 2022.5.21.)
129) 해양수산부·전라북도(2022), pp. 21-22.
130) 통계청(검색일: 2022.7.14.)

〈그림 5-1〉 전북 연안의 인구 변화



자료: 해양수산부·전라북도(2022), p. 22.

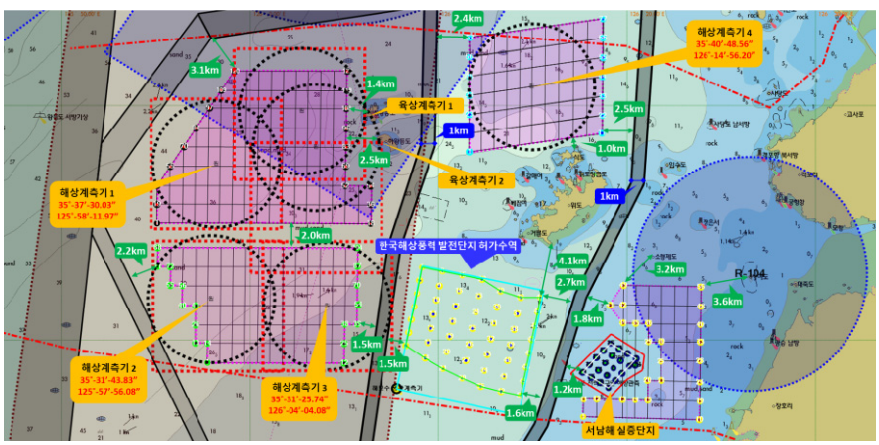
전북 연안에 국가어항 7개소를 포함해 총 42개 어항이 위치하며, 주로 군산시와 부안군에 위치한다. 선유도해수욕장, 변산해수욕장 등 8개의 국가 지정 해수욕장이 있으며, 2021년 기준 방문객 수는 약 32만 명으로 지속해서 증가하는 추세이다. 그 밖에 관광시설로 마리나항 5개소(격포마리나, 고군산, 비응, 궁항, 심포)와 유어장 7개소가 있다. 전북 연안에는 무역항(군산항), 신항만(새만금신항), 연안항(상왕등도항)이 있으며, 해군훈련구역, 공군훈련구역, 국방과학연구소훈련구역 등 4가지 유형의 훈련구역이 있다.[131] 2020년 기준 전북 연안의 허가된 공유수면 점용·사용 현황은 총 520여 건으로 약 18㎢를 차지한다. 공유수면 점용·사용 유형은 인공구조물의 설치 등이 380여 건으로 가장 많고, 흙 또는 돌을 버리는 행위가 13.7㎢로 가장 넓은 면적을 차지한다.[132]

2020년 한해 전북 해역에서 발생한 안전사고는 총 30건으로, 2015년

131) 해양수산부·전라북도(2022), pp. 26-37.
132) 해양수산부(2020), 공유수면 점용·사용 허가 현황(내부자료)

이후 지속해서 증가하는 추세이며, 「수상레저안전법」에 따라 선유도해수욕장, 새만금 배수갑문 해상 등 총 16개소에 수상레저활동 금지구역이 지정되어 있다.[133] 서남권 해상풍력 조성사업이 (1단계) 실증단지 조성 및 운영을 마치고 (2단계) 시범단지 조성사업을 추진 중이며, 2단계 사업을 위해 「신·재생에너지 집적화단지 조성·지원 등에 관한 지침」 제10조 제1항에 따라 전북 해역에 서남권 해상풍력 발전사업 집적화단지를 지정하였다.

〈그림 5-2〉 전북 서남권 해상풍력 발전사업 집적화단지 개요



자료: 전라북도(2021), 자료명(내부자료)

2. 전북 해양공간관리계획 현황: 용도구역 포함

가. 관리계획 개요

2019년부터 3년에 걸쳐 전북 연안 및 해역의 다양한 특성과 이용·보전 수요를 파악하여 체계적·계획적 관리를 위한 방향을 설정하고, 여러 이해

133) 군산해양경찰서 고시 제2020-03호; 부안해양경찰서 고시 제2020-03호

관계자의 협력 및 참여를 통해 현재 활동과 미래 수요에 맞는 해양공간관리계획을 수립하였다. 관리계획 수립을 통해 해양공간의 이용 및 보전 실태를 파악하고, 해양용도구역을 결정하여 관리 방향을 제시하는 해양공간관리의 기준을 마련하였다.

2022년 상반기에 수립·고시된 전북 해양공간관리계획의 대상 해양공간의 면적은 5,265.4㎢로 항만구역(174.8㎢)을 포함하고 있다. 전북 관리계획의 정책 방향은 다음과 같다.

〈표 5-1〉 전북 해양공간관리계획 정책 방향

- 항만, 관광, 어업 등 해양 이용을 위한 공간의 합리적 배분과 복합적 활용을 통한 가치 증진
- 갯벌 등 해양생물 서식지 유지와 해양 생태·경관 가치 보전을 위한 환경·생태계관리구역 지정
- 항만·항행 관련 갈등 방지를 위해 항만·항행구역 실효적 관리 및 해상풍력 발전시설 주변 안전관리구역 지정
- 신규 개발 수요에 따른 기존 행위와 갈등 사전 조정 기제 구축

자료: 해양수산부·전라북도(2022), pp. 66-67.

전북 연안에는 습지보호구역과 국립공원이 위치하며, 흰발농게 등 해양보호생물종의 서식지가 분포하여 해양경관 및 생태계 가치를 보전하기 위한 노력이 필요하다. 최근 신재생에너지 개발을 위한 해상풍력 발전사업이 활발히 이루어지고 있어 발전시설 주변 선박 안전사고와 어업과의 갈등을 우선하여 관리할 필요성이 있다. 또한, 새만금 방조제 건설로 인한 주변 해역의 환경 및 조업에 대한 영향을 지속해서 모니터링하여 피해를 최소화할 수 있도록 관리해야 한다.

전북 해역의 자연 특성과 해양공간을 이용하는 다양한 활동의 잠재성과 경제성을 고려하여 공간을 배분하고, 해양 활동의 다양성과 활동 간 상충을 종합적으로 고려해 용도구역과 관리 우선순위를 설정해야 한다.

나. 용도구역 현황

전북 해양공간관리계획의 대상 공간에 대한 해양공간특성평가[134] 결과와 법정 구역[135], 해양 이용 및 보전 수요를 종합 검토하여 전북 해역에 9개 해양용도구역을 지정하였다. 전북 해역에 지정된 용도구역별 현황은 다음과 같다.

〈표 5-2〉 전북 해양용도구역 지정 현황

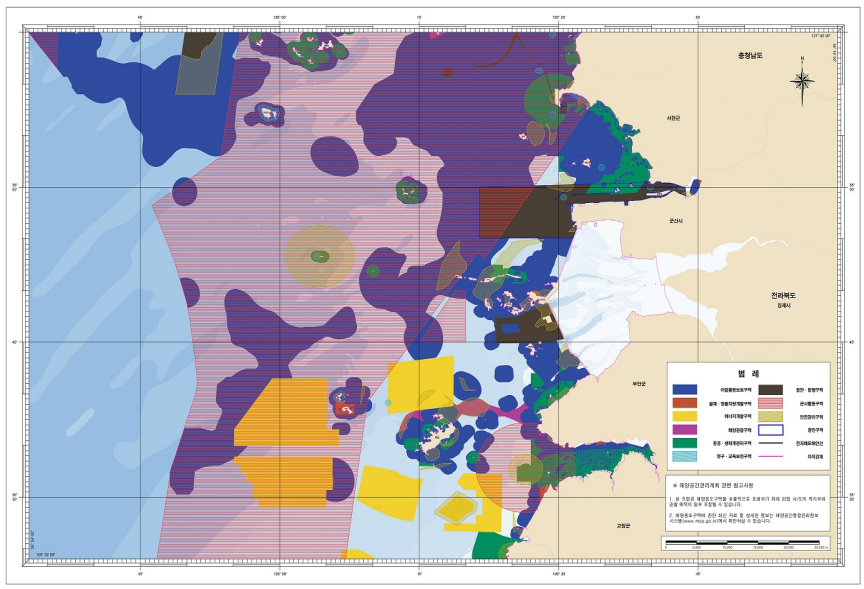
구분			면적(㎢)	비율(%)
합계			5,265.4	100.0
해양용도구역(안)	어업활동보호구역		1,850.2	35.1
	골재·광물자원개발구역		9.6	0.2
	에너지개발구역		523.6	9.9
	해양관광구역		27.4	0.5
	환경·생태계관리구역		146.7	2.8
	항만·항행구역		224.3	4.3
	용도중첩가능	연구·교육보전구역	10.6	0.2
		군사활동구역	3,381.7	64.2
		안전관리구역	333.5	6.3
	중복		(1,795.7)	(34.1)
	소계		4,711.9	89.5
유보해역			553.5	10.5

자료: 해양수산부·전라북도(2022), p. 97.

134) 용도구역 지정 및 변경을 위해 해양공간의 자연적 특성, 입지 및 활용 가능성 등을 평가하는 과정
135) 개별법에 따라 지정된 구역

전북 해역에 지정된 용도구역은 어업활동보호구역, 에너지개발구역 등 9가지 구역이 설정되어 있으며, 용도구역별 면적은 군사활동구역(64.2%), 어업활동보호구역(35.1%), 에너지개발구역(9.9%) 순으로 나타났다. 다른 용도가 중첩될 수 있는 군사활동구역, 연구·교육보전구역, 안전관리구역을 제외하면 어업활동보호구역이 대상 해역에서 넓은 범위를 차지한다.

〈그림 5-3〉 전북 해양용도구역 도면



자료: 해양수산부·전라북도(2022), p. 181.

전북 연안에는 습지보호구역과 국립공원, 갯벌, 해양생물종 서식지 등이 환경·생태계보전구역으로 지정되어 있으며, 부안군, 고창군 해역에 서남해 해상풍력 발전단지 건설로 에너지개발구역이 지정되어 있다. 군산항과 새만금 신항은 항계 내부에 안전사고를 방지하기 위해 항만·항행구역을 설정

하여 다른 이용행위를 제한하고 있다. 사격훈련구역은 훈련 시 안전사고가 발생하지 않도록 군사활동구역으로 지정하고, 훈련 빈도를 고려해 다른 용도구역과 중첩하여 설정하였다.

공간 상충 측면에서는 습지보호구역 내부에 면허어업 등으로 인해 어업활동보호구역과 환경·생태계관리구역이 가장 인접하여 나타나며, 항만·항행구역과 어업활동보호구역의 경계에 공간 상충으로 인한 안전사고가 예상된다. 또한, 해상풍력 발전단지에 지정된 에너지개발구역 인근에 항행과의 상충을 고려하여 안전관리구역으로 설정하였다.

제2절 시나리오 구성 및 모형 구축

1. 정책대안에 따른 시나리오 구성

시나리오 분석은 미래에 발생할 수 있는 여러 상황을 이야기 형식으로 구성하여 관심 상황에 따른 이해당사자의 영향 및 변화요인 등을 평가하여 대응 전략을 수립하도록 지원하는 예측기법이다.[136] 본 연구에서는 해양공간계획과 관련된 정책 대안 및 미래의 여러 상황에 대한 시나리오를 구성하여 시뮬레이션 분석에 적용하여 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성과 활용성을 평가하고자 한다. 일반적인 시나리오 분석 절차는 다음과 같다.

136) 임현·한종민·정민진(2009), pp. 3-4.

〈그림 5-4〉 시나리오 분석의 절차



자료: Kirchgeorg et al.(2010), p. 304를 바탕으로 저자 재구성

시나리오 분석은 분석 목적 및 주변 환경 탐색부터 비전 및 전략 수립의 과정까지 4~5단계의 절차를 통해 수행한다.[137] 먼저 시나리오 준비 단계는 시나리오의 목적과 대상 및 시·공간 범위를 설정하고, 이어서 시나리오 환경 분석 과정은 관련 이해관계자그룹과 영향요인을 파악한다. 그리고 동인 분석 및 영향요인의 조합을 통해 시나리오를 작성한다. 마지막으로 시나리오 분석을 통해 얻은 결과를 토대로 전략 수립 및 의사결정 과정에 반영한다.

가. 시나리오 준비

해양공간계획 지원을 위한 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성과 활용성을 검토하기 위한 본 연구의 시나리오 분석의 목적은 해양공간계획의 구체적 정책 수단인 해양용도구역의 미래 해양 이용 및 환경에 대한 영향을

137) Kirchgeorg, Jung, & Klante(2010), pp. 303-304.

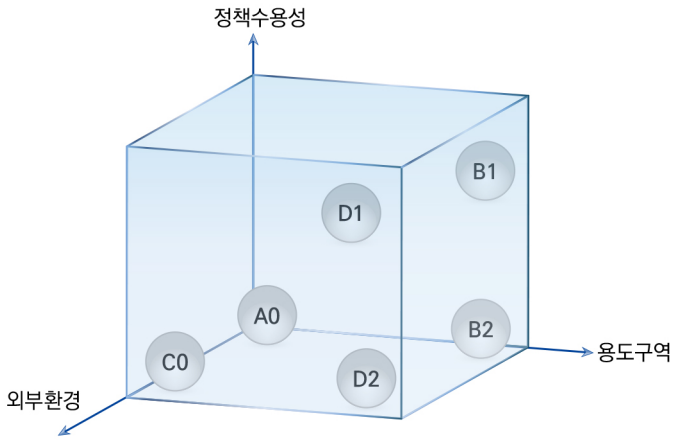
추정하는 것이다. 따라서 시나리오의 대상그룹은 용도구역 정책 수단과 정책에 영향을 미칠 수 있는 내·외부 환경을 포괄하고, 시간적 범위는 관련 법에 명시된 해양공간기본계획의 수립 주기(10년)와 내·외부 정책환경(기후변화 및 해상풍력발전)의 변화 주기에 따라 20~50년을 시간적 범위로 설정한다. 시나리오의 공간적 범위는 사례 연구의 대상 지역이며 전라북도 해양공간관리계획의 수립 범위인 전북 해역(영해 내측)으로 설정한다.

- (목적) 용도구역의 미래 이용 및 환경 영향 추정
- (대상) 정책 수단(용도구역)과 내·외부 정책환경
- (시간 범위) 10년(단기), 20~50년(중·장기)
- (공간 범위) 전북 해역

나. 시나리오 환경 분석

해양공간계획 및 정책환경에 대한 시나리오의 이해당사자는 해양공간을 직접 이용하는 어민, 관광객, 해운 및 에너지 개발사업 관계자 등과 해양공간을 서식지로 이용하는 해양생태계로 볼 수 있다. 해양공간계획의 구체적 정책 수단인 해양용도구역은 대상 해역의 현재 이용수요와 현황을 토대로 용도별 구획을 설정하여 해양공간적합성협의 제도와 같은 행정 절차를 통해 용도별 행위의 우선순위에 따라 해양공간을 통합 관리한다. 향후 해양공간계획의 이행과정에서 해양공간을 이용하는 기존 또는 신규 행위의 활동 공간(입지) 선택에 직·간접적인 영향을 미치게 된다. 또한, 해양용도구역과 같은 새로운 정책 수단으로 인한 효과는 미래의 정책환경에 따라 변화될 수 있으며, 구체적인 정책환경은 용도구역 제도에 대한 정책 수용도의 내부 요인과 기후변화 및 해상풍력발전 등과 같은 외부요인으로 구분할 수 있다. 따라서 사례 연구의 시나리오 구성을 위한 핵심 요인(축)은 용도구역(정책 수단), 정책 수용성(내부 환경), 외부 환경으로 설정한다.

〈그림 5-5〉 시나리오 구성을 위한 핵심 요소(축) 설정



자료: 저자 작성

다. 시나리오 작성

앞서 시나리오 목적과 대상 범위, 이해관계자 설정 및 요인 분석을 토대로 시뮬레이션 사례 연구를 위한 시나리오를 다음과 같이 구성하였다. 첫 번째 시나리오(Case-A)는 어떤 인위적 조작이 없는 현재의 추세를 반영하는 현상유지 시나리오(BAU Scenario)로, 용도구역 제도가 도입되기 이전의 상태를 재현하여 용도구역 도입의 효과를 비교·분석하는데 활용된다. 두 번째 시나리오(Case-B)는 대상 공간에 어떤 외부 환경의 변화 없이 용도구역 제도가 적용된 상황이다. 세 번째 시나리오(Case-C)는 내부 변인으로 용도구역 정책 수용성에 따라 수용성이 높은 경우를 가정한다. 네 번째 시나리오(Case-D)는 용도구역 제도가 도입된 미래 상황으로 기후변화 및 해상풍력과 같은 외부 환경요인이 반영된 경우로, 외부요인이 적용된 미래 상황에서 용도구역의 효과를 비교 검증하기 위한 시나리오이다.

〈표 5-3〉 상황별 시나리오 구성

시나리오	용도구역	정책 수용성	외부 환경
Case-A	X	X	X
Case-B	O	X	X
Case-C	O	O	X
Case-D	O	X	O

자료: 저자 작성

라. 시나리오 결과

본 연구의 시나리오 분석 결과는 용도구역 수단을 통한 해양공간계획의 정책 효과와 이용행위 및 환경에 대한 영향을 추정하기 위한 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성과 과학적 정책지원 수단으로써 활용성을 평가하는 데 적용된다.

용도구역 상황에 따른 시나리오 결과의 비교(Case A vs. Case-B)를 통해 해양공간 이용행위와 환경·생태계의 변화 여부를 검토하여 신규 제도의 효과를 평가한다. 그리고 용도구역 제도에 대한 이해관계자의 정책 수용성의 영향을 판별하기 위해 두 시나리오(Case-A vs. Case-C)를 비교한다. 또한, 외부요인에 따른 용도구역의 영향을 파악하기 위해서 기준 시나리오(Case-A)와 외부 환경 시나리오(Case-D)를 비교 분석하여 미래 해양공간의 불확실성에 대한 해양공간계획의 대응 전략을 수립하는데 필요한 시사점을 도출한다.

〈표 5-4〉 시나리오 비교·분석 항목 및 목적

기준 시나리오	대상 시나리오	분석 목적
Case-A	Case-B	일반적인 용도구역 제도의 효과
Case-A	Case-C	용도구역 제도에 대한 정책 수용성 영향
Case-A	Case-D	용도구역 제도에 대한 외부요인 영향

자료: 저자 작성

2. 모형의 구성요소 및 파라미터 설정

해양공간계획 수립·이행 과정을 지원하기 위한 행위자기반 시뮬레이션의 적용 가능성과 활용성에 대한 시사점을 도출하기 위한 본 연구의 사례연구는 본 연구의 제4장 제3절에 제시한 ABM(행위자기반모형)의 구성요소와 제5장 제1절에 제시한 사례지역 현황을 토대로 사례분석을 위한 모형의 구성요소(행위자 및 공간 환경)와 속성을 설정하였다.

1) 행위자 및 공간환경 정의

가. 행위자

해양공간계획 지원을 위한 ABM에서 행위자는 해양공간에서 특정한 활동을 수행하는 객체가 된다. 본 연구의 ABM에서는 크게 어선, 유어선, 상선의 행위자를 정의한다. 어선은 조업 활동을 위한 선박으로, 본 모형에서는 중규모 선박으로 표현하고 있다. 유어선은 관광 활동을 위한 선박으로 소형 선박을 표현하고 있다. 상선은 화물 운반을 위한 선박으로 화물선 등 대형 선박으로 표현한다.

〈표 5-5〉 행위자 종류 및 특성, 표현

행위자 유형	주요 활동	모형 표현
어선	조업 활동	
유어선	관광 활동	
상선	항행 활동	

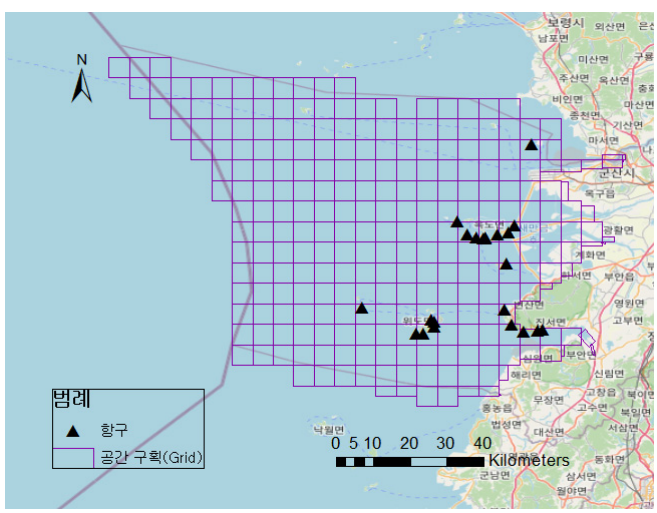
자료: 저자 작성

나. 공간환경

ABM에서 공간환경은 일반적으로 행위자가 활동할 수 있는 물리적인 공간을 의미하며, 해양공간계획 지원을 위한 본 연구의 모형은 해양공간을 공간환경으로 설정한다. 구체적으로 본 연구에서 정의하는 공간환경은 크게 항구와 공간 격자의 2가지로 구분한다. 먼저 항구(port)는 배가 출항하고 귀항할 수 있는 장소로, 어선과 유어선의 개별 행위자는 각각 출항과 귀항을 위한 등록항을 속성 정보로 가지고 있다. 본 연구의 사례분석은 전북 해역의 20여 개의 대표적인 어항을 항구로 설정한다.

다음 공간 격자(spatial grid)는 ABM의 공간환경을 구성하는 기본 단위로, 사례지역인 전북 해역은 약 260개의 공간 격자로 구성되어 있다. 모든 행위자는 특정 공간 격자에 위치하며 행위를 수행하고, 다른 행위자 및 공간 격자의 속성 정보를 토대로 상호작용하도록 모델링한다.

〈그림 5-6〉 ABM의 공간환경 요소: 항구 & 공간 격자



자료: 저자 작성

2) 행위자 및 공간환경 속성 정의

가. 행위자 속성

앞서 설명했듯이 본 ABM은 세 종류의 행위자를 구성하는데, 행위자별로 속성은 다음과 같다. 먼저 조업 활동을 위한 어선 행위자는 고유번호, 출항일, 조업 기간, 현 위치, 항구 등 12개 속성으로 정의한다.

〈표 5-6〉 어선 행위자의 속성

속성	설명
vesselID	어선의 고유한 일련번호
date	어선의 출항 날짜
duration	어선이 출항하여 조업하는 기간
spatialgrid	어선이 조업하는 목적지에 해당하는 그리드 객체
grid_id	어선의 조업하는 그리드 객체의 고유한 일련번호
xCoord	어선의 현재 좌표(경도)
yCoord	어선의 현재 좌표(위도)
harbor_ID	어선의 출항과 귀항을 위한 항구의 일련번호
harborXcoord	항구의 경도
harborYcoord	항구의 위도
catchAmountDistribution	수집된 데이터를 기초로 어선 출항 시 어획량의 분포 (*밀도 분포로 밀도함수에 의해 각 어선에 적용)
totalAmt	어선 조업 기간의 총어획량

자료: 저자 작성

다음 관광 활동을 수행하는 유어선 행위자는 어선과 유사하게 고유번호, 출항일, 현 위치, 항구 등 속성 이외에도 관광 활동으로 인한 만족도를 포함해 11개 속성으로 정의한다.

〈표 5-7〉 유어선 행위자의 속성

속성	설명
boatID	유어선의 고유한 일련번호
date	유어선의 출항 날짜
duration	유어선이 출항한 기간
spatialgrid	유어선의 목적지에 해당하는 그리드 객체
grid_id	유어선의 목적지에 해당하는 그리드 객체의 고유한 일련번호
xCoord	유어선의 현재 좌표(경도)
yCoord	유어선의 현재 좌표(위도)
harbor_ID	유어선의 귀항지 일련번호
harborXcoord	항구의 경도
harborYcoord	항구의 위도
satisfaction	유어선의 관광 활동으로 인한 만족도 (*0에서 1 사이의 값)

자료: 저자 작성

마지막으로 항행을 위한 상선 행위자는 앞서 행위자와 마찬가지로 고유번호, 출항일, 현 위치 등 속성 이외에도 상선의 이동 궤적을 나타내는 정보를 포함해 7개의 속성으로 정의한다.

〈표 5-8〉 상선 행위자의 속성

속성	설명
cargoShipID	상선의 고유한 일련번호
date	상선의 출항 날짜
duration	상선의 출항 후 항행 기간
grids	상선의 이동 궤적(격자 리스트)
grid_id	상선의 현재 좌표에 대한 그리드의 일련번호
xCoord, yCoord	상선의 현재 좌표(경도), 상선의 현재 좌표(위도)

자료: 저자 작성

나. 공간환경 속성

ABM을 구성하는 공간환경, 즉 항구와 공간 격자의 속성은 다음과 같다. 먼저 항구는 고유번호, 명칭, 위치(경도, 위도) 속성과 함께, 관측 데이터를 토대로 생성한 월별 어선·유어선의 출항지 밀도분포에 대한 속성을 포함하고 있다. 이 분포는 모형에서 랜덤함수를 이용한 무작위 선택을 통해서 월별 어선, 유어선의 등록항을 설정하는 데 사용된다.

〈표 5-9〉 항구의 속성

속성	설명
harborID	항구의 일련번호
Name	항구의 명칭
xCoord	항구의 좌표(경도)
yCoord	항구의 좌표(위도)
fishingVesselHarborDistribution	관측자료를 기초로 생성된 월별 어선의 출항지 분포 (*어선별로 분포에 따라 출항지 결정)
fishingBoatHarborDistribution	관측자료를 기초로 생성된 월별 유어선의 출항지 분포 (*유어선별로 분포에 따라 출항지 결정).

자료: 저자 작성

다음 격자 공간은 고유번호, 위치 좌표(경도, 위도) 이외에도 용도구역, 꽃게·어족 자원량, 성장지수를 속성 정보로 가지고 있다. 각 격자 공간의 용도구역은 해당 격자에서 가장 많은 면적을 차지하는 용도로써 정의하며, 9가지 용도구역 중 중첩이 가능한 군사활동구역, 안전관리구역, 연구·교육보전구역을 제외한 나머지 6가지 용도로 정의한다. 다음 자원량은 관측 데이터를 기초로 CPUE(단위 노력당 어획량) 개념을 이용해 꽃게와 모든 어종에 대한 자원량을 산정하여 적용한다. 마지막으로 성장률(lambda)은 각 격자 공간에 서식하는 자원량을 산출하는 성장함수(growth function)에 적용된 지수이다.

〈표 5-10〉 격자 공간의 속성

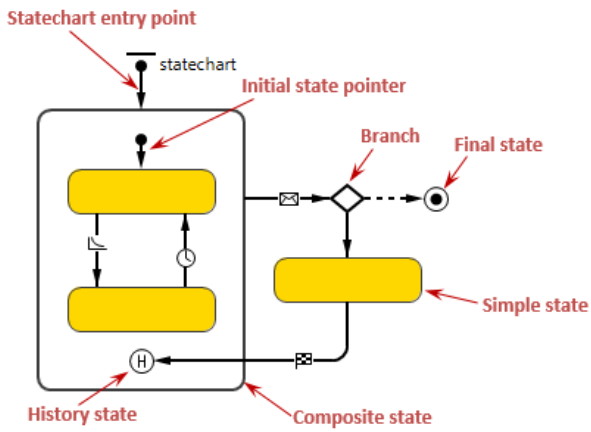
속성	설명
gridID	공간구획의 고유한 일련번호
gridXCoord	공간구획의 위치 좌표(경도)
gridYCoord	공간구획의 위치 좌표(위도)
purpose	공간구획의 용도구역
crabAmount	공간구획의 꽃게 자원량
totalAmount	공간구획의 총어족자원량
lambda	기후변화 시나리오에서 꽃게의 개체 수는 지수함수에 의해 숫자가 변화하게 되는데, 이때 지수함수에 포함되는 값 (*초깃값은 0.3으로 설정) (**성장함수에 의해 매월 개체 수가 변화)

자료: 저자 작성

3) 행위자의 행위 및 상호작용

AnyLogic 소프트웨어를 이용해 ABM을 개발하는 경우에 행위자의 행위와 상호작용은 그래픽 편집기를 이용한 'statechart' 기능을 이용해 정의한다. statechart는 각 행위자가 특정 트리거(시간 등)에 따라서 특정 상태에 도달하게 되고, 특정 상태별로 요구되는 행위 및 상호작용이 있음을 표현하는 방법이다. statechart는 상태의 시작과 끝 지점(entry and final point), 상태(state), 전환(transition), 초깃값(initial pointer), 분기(branch), 과거 상태(history state)로써 정의한다. 본 연구는 어선, 유어선, 상선의 각 행위와 상호작용을 statechart를 이용해 설정한다. 다만 사례 모형의 공간환경은 statechart 대신에 간단한 함수를 이용해 정의한다.

〈그림 5-7〉 AnyLogic의 statechart 예시

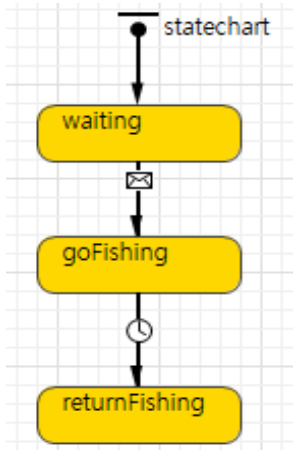


자료: AnyLogic Help(검색일: 2022.9.13.)

가. 어선 행위자

본 연구의 사례분석을 위한 ABM은 어선의 행위를 조업 공간으로의 이동과 조업 활동 두 가지로 구분한다. 먼저 시뮬레이션 과정에서 어선 행위자가 생성되면 모든 어선은 관측자료에 기초해 생성된 월별 등록항 분포에 따라 무작위로 지정된 항구에 정박한다(waiting). 그런 후에 출항일이 되면 조업을 위한 목표지점(격자 공간)으로 이동한다(goFishing). goFishing 상태에서는 조업 기간 관측된 분포에 따라 정해진 어획량만큼 수확하게 된다. 조업 기간이 종료되면 다시 항구로 귀항하게 된다(returnFishing). 이때 월별 총어획량은 어선이 수확한 어획량만큼 증가하고, 조업 공간의 어족자원은 감소하게 된다. 이것이 사례 모형에서 정의하는 어선과 공간환경의 상호작용을 나타낸다. 다음은 statechart를 이용해 어선의 행위를 설정한 것이다.

〈그림 5-8〉 어선의 행위에 대한 Statechart

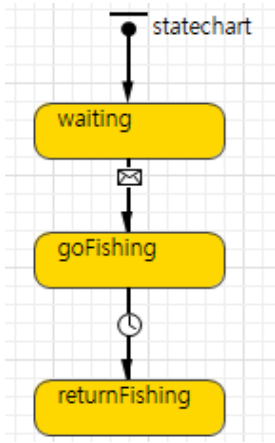


자료: 저자 작성

나. 유어선 행위자

마찬가지로 낚시 관광을 위한 유어선의 행위는 목적지로의 이동과 관광 행위, 즉 낚시로 구분한다. 먼저 ABM에서 어선 행위자가 생성되면 모든 유어선은 사전에 설정된 항구에 정박한다(waiting). 그런 후 출항일이 되면 목표지점(공간 격자)으로 출항한다(goFishing). goFishing 상태에서 낚시 관광을 하는 경우, 어선과 달리 격자별 어족자원량의 분포에 따라 유어선의 만족도(0~1)가 결정된다. 구체적으로 격자별 어족자원량에 따라서 가장 많은 곳은 만족도 1.0, 가장 적은 곳은 만족도 0이 된다. 사전 정의된 관광 기간이 종료되면 다시 항구로 돌아온다(returnFishing). 유어선의 경우에 격자별 어족자원량 분포에 따라 만족도가 설정되어 이러한 방식으로 공간환경과 상호작용하도록 정의한다. 다음은 statechart를 이용해 유어선의 행위를 설정한 것이다.

〈그림 5-9〉 유어선의 행위에 대한 Statechart

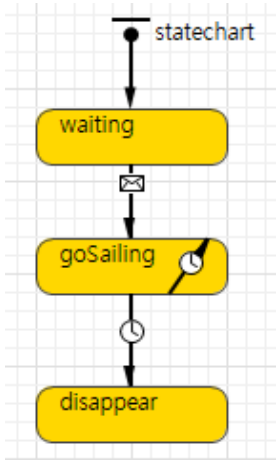


자료: 저자 작성

다. 상선 행위자

앞서 어선과 유어선과 비교해 상선은 상대적으로 단순한 방식으로 행위와 상호작용을 정의한다. 본 모형에서 상선은 전북 해역을 지나가는 항행을 집중적으로 모델링한다. 먼저 상선 행위자가 생성되면 모든 상선은 사전에 설정된 항구에 정박한다(waiting). 설정된 출항일이 도래하면 상선 행위자는 정해진 목적지(공간 격자)로 이동한다(goSailing). 그런 후에 항행 기간에 grids 속성에 정의된 궤적을 따라 순차적으로 격자를 이동한다. 이때 grids 속성의 궤적은 상선의 관측 데이터를 토대로 작성한 것이다. 최종 상선이 disappear 상태에 다다르면 상선 행위자는 모형에서 사라진다. 이것은 전북 해역을 지나쳐서 다른 해역으로 이동했음을 나타낸다. 다음은 statechart를 이용해 상선의 행위를 설정한 것이다.

〈그림 5-10〉 상선의 행위에 대한 Statechart



자료: 저자 작성

라. 공간환경: 어류생태

본 연구의 ABM은 바닷게의 어족자원으로 공간환경을 정의하였다. 바닷게의 자원량은 개체군 성장에 대한 생태학의 기존 이론 중 지수적 성장(exponential growth)을 적용한다.[138] 또 다른 개체군 성장 이론인 로지스틱형 성장(logistic growth)은 빠른 성장기 이후 환경수용력에 따라 안정기에 도달하며, 개체군 고립, 환경 균질 등 현실에서 불가능한 가정으로 인해 적용하는 데 한계가 있다. 충분한 자원 환경에서 일정 간격으로 전체의 일정 비율로 개체 수가 증가하는 지수적 성장 이론은 지수증가율을 이용한 비교적 현실적인 방법이다.[139]

기후변화 시나리오는 제한된 공간에서 무한한 성장 자원을 가정하는 지수성장식을 이용하여 바닷게의 자원량을 산정한다. [식 5-1]에서 성장율 λ

138) 김수암·강수영(1999), pp. 103-104.
139) 최희정(2018a), p. 66.

(lambda)의 초깃값은 0.3으로 임의 설정하였다. 본 연구는 기후변화와 같은 환경변화에서 해양공간계획 제도의 환경·생태계 영향을 파악하기 위해 바닷게의 성장률과 같은 단순 개념을 적용하였다. 기후변화와 바닷게와 같은 해양생물의 관계에 대한 국내 연구는 드물지만, 강윤호 외(2012)에서는 다양한 기후변화 시나리오에서 일차생산량과 해양산성화로 인한 무척추동물과 어류의 생체량 감소를 추정하였다.[140] 기후변화를 제외한 나머지 시나리오는 시뮬레이션 모델의 단순화를 위해서 어획량과 성장량 사이에 평형상태로 바닷게 자원량이 일정하게 유지됨을 가정하였다.

$$Cr(t) = Cr(t_0) \times \exp^{\lambda t}$$

$Cr(t_0)$: t_0 시점의 생물개체군 자원량

[식 5-1] 생물개체군의 지수성장식

향후 기후변화로 인한 해양 환경 및 생태계 변화와 해양공간계획 제도와의 연관성을 파악하기 위해서 정교한 개체 성장 이론을 적용하여 어류생태계의 변화를 모델링하는 후속 연구가 필요하다.

4) 모형 파라미터 설정

해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 적용성과 활용 가능성의 검증을 위한 사례분석에 적용된 모형의 파라미터는 어선, 유어선, 상선 행위자와 공간환경에 따라서 다음과 같이 설정한다.

어선 행위자는 어장 선택에 따른 조업으로 인한 수익(fishingBnf), 항해거리로 인한 유류비 비용(fishingCst), 그리고 비용 대비 수익을 통한 효율성(fishingEff)을 모형 파라미터로 설정한다. 따라서 용도구역 지정과 정책

140) 강윤호 외(2012), p. 249.

수용도 등 시나리오에 따른 파라미터의 변화를 분석하여 정책 효과를 진단한다. 유어선은 용도구역 적용 시 낚시터 선택으로 인한 어획량으로 결정되는 만족도(leisureSat), 항행 비용(leisureCst), 효율성(leisureEff)의 변화를 추정하여 용도구역, 정책 수용성 등 시나리오 상황에 따른 정책 영향을 분석한다. 상선은 다양한 시나리오에 따른 항로 선택(항행 거리)으로 산출되는 항해 비용(sailingCst)으로 용도구역 등 시나리오 분석의 결과를 토대로 정책 대안을 평가한다.

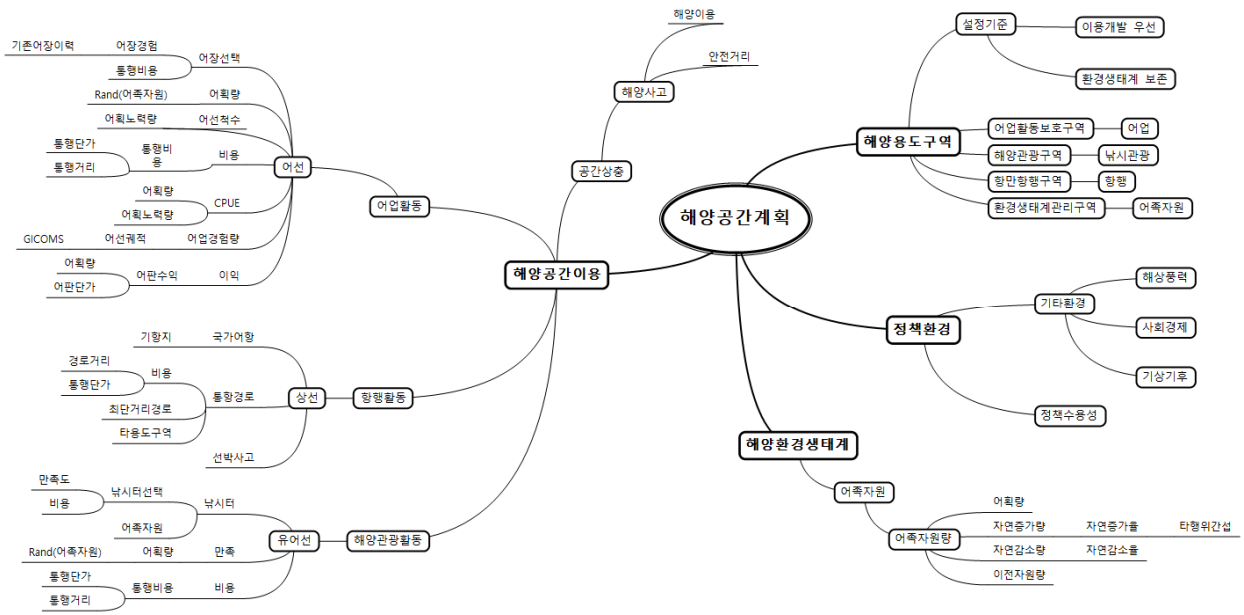
어류생태계로 대변되는 격자 단위의 공간환경은 자연 증감률 외에도 조업, 항해 등으로 인한 어족자원(바닷게)(ecoStock)의 변화를 추정하여 해양환경 및 생태계에 대한 용도구역 등 정책 수단 및 외부 환경의 영향을 진단한다. 또한, 생태계 분포와 공간 격자별 누적 활동량으로 누적영향지수(ecoCum)를 산출하고, 동일 격자 내부에 두 활동 간 상충 정도를 평가하는 공간상충지수(ecoConf)를 격자 단위로 산출하여 정책 대안 및 외부 환경에 따른 해양공간의 변화를 추정하는 데 활용한다.

〈표 5-11〉 모형 파라미터 목록

모형 요소	파라미터	설명
어선 행위자	fishingBnf	조업의 수익(조업량)
	fishingCst	조업의 비용(유류비)
	fishingEff	조업의 효율성
유어선 행위자	leisureSat	낚시의 만족도
	leisureCst	낚시의 비용(유류비)
	leisureEff	낚시의 효율성
상선 행위자	sailingCst	항해의 비용
어류생태 (공간 격자)	ecoStock	바닷게 자원량
	ecoCum	누적영향지수
	ecoConf	공간상충지수

자료: 저자 작성

〈그림 5-11〉 ABM의 구성요소 및 파라미터



자료: 저자 작성

3. 행위자기반모형 설계 및 분석

1) 모형설계: ODD 규약

일반적으로 ABM은 모형 구축에 앞서 ODD 프로토콜이라는 양식을 작성하여 모형의 세부 사항을 설계한다. ODD 프로토콜의 구성은 개요(모형의 목적, 구성요소, 상태변수, 스케일, 모형 프로세스), 설계 개념, 세부 사항(초깃값, 입력 자료, 하위모델)을 포함한다. 본 연구의 사례분석을 위한 ABM은 다음과 같은 구성요소로 설계한다.

〈표 5-12〉 ABM의 ODD 프로토콜(안)

구분	구성	내용
개요	목적	해양 이용 및 환경에 대한 해양공간계획 및 외부 환경의 영향 분석
	구성요소	• (행위자) 어선, 유어선, 상선 • (환경) 어류생태
	상태변수	어획량, 만족도, 수입, 지출, 자원량 등
	스케일	(시간) 월 단위, (공간) 3분 격자 단위
	프로세스	1. 행위자 (어장, 낚시터, 항로) 선택 2. 규칙에 따른 활동(조업, 낚시, 항행) 및 상호작용(안전사고 등) 3. 어류생태계 영향(자원량 등) 등
설계 개념	학습	• (어선) 어족자원은 어장 선택에 영향을 미치며, 어장 선택에 따라 지속적으로 갱신됨. • (유어선) 만족도는 낚시터 선택에 영향을 미치며, 낚시 활동으로 지속적으로 갱신됨.
세부 사항	초깃값	선박 수, 어족자원(게), 등록항, 성장지수, 정책 수용도 등
	입력 자료	(격자별) 어획량, (선박별) 어장 밀도, 항로 등
	하위모형	• (어선·유어선) 어장선택모형 • (상선) 경로선택모형 • (어류생태) 개체성장모형

자료: 저자 작성

2) 모형 구축 및 분석: AnyLogic

(1) 시뮬레이션 분석 환경

본 연구에서는 행위자기반 시뮬레이션 모형의 적용 및 활용 가능성을 검증하기 위한 사례분석을 진행하며, 이때 AnyLogic 소프트웨어를 이용해 ABM을 구축하고 시나리오 분석을 수행한다. 다음은 ABM의 구축 및 분석을 위한 AnyLogic 소프트웨어의 실행 환경이다. 일반적으로 시뮬레이션 구동을 위해서 비교적 높은 컴퓨터 사양을 요구하며, 특히 ABM의 방법론적 특성상 수많은 객체의 행위와 상호관계를 연산하는 병렬프로세스에 적합하도록 컴퓨터 메모리를 충분히 확보해야 한다.

본 연구의 ABM 구축 및 분석에 사용한 AnyLogic 소프트웨어는 PLE (personal learning edition) 버전이다. 이 버전은 다른 버전(University Researcher, Professional)에 비해 모델 크기(행위자 수)나 외부 데이터베이스 등 일부 기능에 제약이 있으나, 본 연구의 사례분석을 수행하는 데는 문제가 없으며, 현재 PLE 버전은 무료로 배포하고 있다. 향후 정책 실무에 활용할 수 있는 정책지원시스템 구축을 위해서는 AnyLogic 상위 버전(professional)을 이용한 모형 개발 및 분석이 요구된다.

- CPU: AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor, 3.59 GHz
- Memory: 32 GB (RAM)
- Operating System: Window 10 Pro
- Software: Anylogic PLE version 8.7.12

가. 입력 데이터 현황

ABM의 입력 자료는 대부분 2018년에 수집된 데이터를 토대로 작성하

였으며, 항구, 어장, 출항 기간 등 일부 자료는 행위자의 속성을 사전 정의하기 위해서 수집 데이터를 기초로 밀도분포를 작성하였다.

〈표 5-13〉 시뮬레이션 입력 자료

구분	파일명	설명
공간 격자	grid_3_degreee_no_hole_centroid_property_purpose	격자의 위치, 용도구역, 자원량 등
항구	harbor_property	항구 위치, 명칭 등
어족자원량	gid_satisfaction	격자별 어족자원량
어선 항구	fishing_vessel_ports_m01	어선의 항구 1월 데이터
	...	...
	fishing_vessel_ports_m12	어선의 항구 12월 데이터
어선 어획량	catchAmount	어선의 어획량에 대한 분포
어선 출항 날짜	fishing_vessel_dates	어선의 출항 날짜 분포
어선 출항 기간	fishing_vessel_days	어선의 출항 기간 분포
어선 목적지	fishing_vessel_gids_m01	어선의 출항 목적지 1월 데이터
	...	...
	fishing_vessel_gids_m12	어선의 출항 목적지 12월 데이터
유어선 항구	fishing_m01_port	유어선의 항구 1월 데이터
	...	...
	fishing_m12_port	유어선의 항구 12월 데이터
유어선 출항 날짜	fishingDates	유어선의 출항 날짜 분포
유어선 출항 기간	fishingDuration	유어선의 출항 기간 분포
유어선 목적지	density_m01_fishing	유어선의 출항 목적지 1월 데이터
	...	...
	density_m12_fishing	유어선의 출항 목적지 12월 데이터
상선 항로 궤적	AIS_data_m01	상선 출항 궤적 1월 데이터
	...	...
	AIS_data_m12	상선 출항 궤적 12월 데이터
상선 출항 날짜	AISDates	상선 출항 날짜 분포 데이터

자료: 저자 작성

나. 모델 초깃값 설정

앞서 구축한 ABM을 이용한 시뮬레이션 분석을 위해서 모델의 초깃값을 다음과 같이 설정한다. 먼저 어선, 유어선, 상선 등 선박 행위자의 수는 실제 관측 데이터의 10%를 적용하여 각각 2,700, 2,400, 280척을 적용한다. ABM의 행위자 수가 많을수록 연산이 복잡해져 시뮬레이션 실행 속도가 느려질 수 있으므로 적정한 수준의 행위자를 생성할 필요가 있다. 적정한 수준의 행위자는 실제 현상의 경향을 잘 재현하면서도 가능한 적은 수의 행위자를 뜻한다. 다만 본 연구에서 사용한 AnyLogic 소프트웨어의 PLE 버전은 5만 이하의 행위자를 생성하도록 제한되어 있어 10% 정도를 사례분석에 우선 적용하였다. 향후 행위자 수에 따른 시뮬레이션 결과의 민감도 분석을 통해서 관련 문제를 해소할 필요성이 있다. 모형의 선박 수 외에도 어족자원의 성장함수에 적용되는 성장률(lambda)을 0.3으로 임의 지정하였다. 시뮬레이션 결과의 정확도 및 신뢰도를 개선하기 위해서 성장함수와 더불어 성장률에 관한 후속 연구가 요구된다.

〈표 5-14〉 시뮬레이션 초깃값 설정

구분	변수	초깃값	설명
어선 수	fishingVesselCounts	2,700	관측치의 10%
유어선 수	fishingBoatCounts	2,400	관측치의 10%
상선 수	cargoShipCounts	280	관측치의 10%
게의 성장률	lambda	0.3	임의 지정

자료: 저자 작성

(2) 시뮬레이션 산출물

가. 시뮬레이션 인터페이스

다음은 시뮬레이션 설정 및 실행을 위해 AnyLogic 소프트웨어를 이용해 개발한 시뮬레이션 인터페이스이다. 먼저 시뮬레이션 분석을 위한 설정창(인터페이스 우측)에서 분석할 시나리오와 모형의 파라미터를 설정한다. 현재 기준 시나리오 외에 용도구역, 정책수용도, 해상풍력단지, 기후변화의 4가지 시나리오를 선택할 수 있으며, 설정창의 시나리오 버튼을 직접 클릭하면 시뮬레이션이 자동 실행된다. 모델 파라미터는 선박 수, 정책수용도, 성장률을 슬라이드바(slide bar)나 입력창(input)을 통해서 설정할 수 있다.

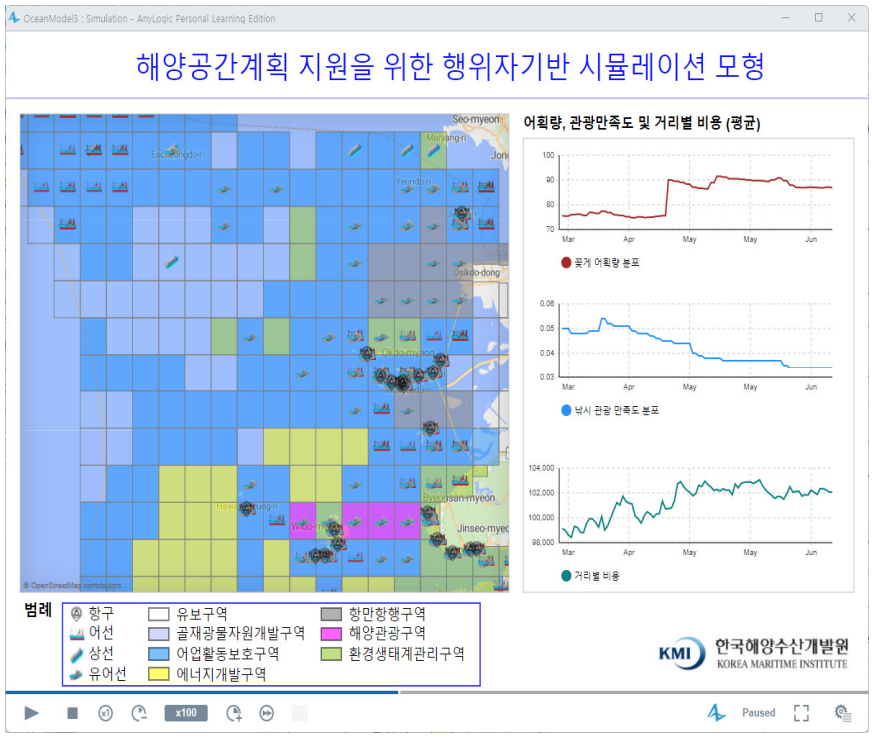
〈그림 5-12〉 시뮬레이션 인터페이스: 시나리오 및 모델 파라미터 설정



자료: 저자 작성

다음은 시뮬레이션 인터페이스이다. 시뮬레이션 인터페이스는 앞서 설정한 시나리오와 모델 파라미터를 입력하여 시뮬레이션 분석의 과정과 결과를 나타내는 대시보드로 구성되었다. 인터페이스 좌측은 ABM이 실행되는 동안 사례지역(전북 해역)의 격자 기반 공간환경에서 시간(일 단위)에 따른 행위자(어선, 유어선, 상선)의 활동과 상호작용이 가시적으로 표현되는 지도 영역이다. 용도구역, 해상풍력단지, 기후변화 등 시나리오 설정에 따른 내·외부 환경의 변화에 따른 행위자의 적응 과정, 즉 활동 공간(가령, 어장, 낚시터, 항로 등)의 선택 결과를 실시간 확인할 수 있다.

〈그림 5-13〉 시뮬레이션 인터페이스: 대시보드



자료: 저자 작성

인터페이스 우측은 시뮬레이션 결과로, 모델 파라미터값의 시계열 변화를 그래프로 나타내는 대시보드 영역이다. 대표적으로 어선의 조업량, 유어선의 만족도, 상선의 비용, 어족자원량을 좌측 지도 영역과 연동하여 시나리오에 따른 행위자의 적응 과정과 함께 행위자 속성(모델 파라미터)의 시계열 변화를 실시간으로 확인할 수 있다. 시뮬레이션 인터페이스(대시보드)를 통해서 시나리오에 기초한 정책환경 변동에 따른 해양 이용 및 현황의 실시간 변화 과정을 시각적으로 확인할 수 있어 정책 실무자뿐만 아니라 이해당사자가 분석 결과를 쉽게 이해하고, 신뢰할 수 있도록 한다.

나. 시뮬레이션 결과 파일

AnyLogic 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 분석 결과로 다음의 4개 산출물을 생성한다. 우선 AnyLogic 프로젝트 파일(*.alp)은 ABM의 소스 코드(Java)와 시뮬레이션 인터페이스를 포함한다. 시뮬레이션 결과는 행위자와 공간환경별로 CSV 파일(*.csv) 형식으로 저장된다.

〈표 5-15〉 시뮬레이션 산출물

경로	파일명	설명
(Root) ...	OceanModel_Final.alp	AnyLogic 프로젝트 파일
./outputFiles/	fishingVesselOutput_1.csv	어선 시뮬레이션 결과
./outputFiles/	fishingBoatOutput_1.csv	유어선 시뮬레이션 결과
./outputFiles/	CargoOutput_1.csv	상선 시뮬레이션 결과
./outputFiles/	spatialGridOutput_1.csv	공간환경 시뮬레이션 결과

자료: 저자 작성

어선 행위자의 시뮬레이션 결과는 개별 행위자의 선박 식별번호, 출항일자, 조업 기간, 위치, 항구, 조업(어획량) 정보를 포함한다. 조업 위치와

항구, 조업량 정보를 참조하여 어선의 수익과 비용, 효율성의 변화를 분석한다. 어선 행위자의 산출물에 대한 상세한 정보는 다음과 같다.

〈표 5-16〉 어선 시뮬레이션 산출물

속성	설명
ShipID	선박 식별번호
Date	선박 출항 일자
Duration	선박 출항 기간(조업)
GridID	격자 정보
XCoord, YCoord	선박 위치(경도, 위도)
HarborID	항구 정보
HarborXCoord, HarborYCoord	항구 위치(경도, 위도)
Satisfaction	조업량

자료: 저자 작성

유어선 행위자의 시뮬레이션 결과는 선박 식별번호, 출항 일자, 출항 기간, 위치, 항구, 만족도 정보를 포함한다. 이들 참고하여 유어선의 수익, 비용, 효율성을 분석한다. 산출물의 상세한 정보는 다음과 같다.

〈표 5-17〉 유어선 시뮬레이션 산출물

속성	설명
ShipID	선박 식별번호
Date	선박 출항 일자
Duration	선박 출항 기간(관광)
GridID	격자 정보
XCoord, YCoord	선박 위치(경도, 위도)
HarborID	항구 정보

속성	설명
ShipID	선박 식별번호
HarborXCoord, HarborYCoord	항구 위치(경도, 위도)
Satisfaction	관광 만족도

자료: 저자 작성

상선 행위자의 시뮬레이션 결과는 선박 식별번호, 출항 일자, 출항 기간, 항로 정보를 포함한다. 선박의 경로 정보를 참고하여 상선 비용의 변화를 분석한다. 상선 행위자의 산출물에 대한 상세한 정보는 다음과 같다.

〈표 5-18〉 상선 시뮬레이션 산출물

속성	설명
ShipID	선박 식별번호
Date	선박 출항 일자
Duration	선박 출항 기간(항행)
GridIDs	선박 궤적 정보(격자 위치 리스트)

자료: 저자 작성

AnyLogic 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 분석은 시나리오별로 산출물을 생성하며, 이들 산출물을 이용하여 시뮬레이션 결과를 상세히 분석한다. 사례지역 대상으로 개발한 ABM의 검증과 시뮬레이션 결과의 분석은 다음 절에서 논의한다.

제3절 시뮬레이션 결과 분석

1. 시뮬레이션 모형 검증 및 타당성 분석

1) 모형 검증: 통계분석 활용

본 연구의 사례분석에 적용된 프로토타입 모형의 검증을 위해서 관측 데이터와 시뮬레이션 결과로 산출된 예측 데이터를 비교 분석한다. 구체적으로는 어선과 유어선의 관측자료, 즉 어선과 유어선의 월평균 출항 선박 수와 평균 출항 일수를 정책 대안이나 환경변화가 없는 기준 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과와 비교하여 표준화된 평균제곱근오차(SRMSE)를 기준으로 모형을 검증한다. 다만, 모형 검증을 위한 관측자료의 부재로 인해 어선과 유어선을 제외한 상선과 공간환경의 예측 결과에 대한 검증은 시행하지 않는다. 후속 연구를 통해 검증 데이터를 추가 확보하고 검증 방법을 고도화하여 검증을 보완하고 시뮬레이션 모형의 신뢰도를 개선할 예정이다.

가. 종합 분석

다음은 시뮬레이션 분석을 통해 산출한 어선과 유어선의 월평균 출항 선박 수와 평균 출항 일수에 대한 추정값을 관측자료와 비교한 결과이다. 관측치와 추정치의 상대 백분율 차이(RPD)는 어선의 월평균 출항 선박 수(15.6%)를 제외하고 10% 미만으로 비교적 일치하며, 어선의 평균 출항 일수의 경우 약 19일로 두 값이 매우 유사하게 나타났다.

표준화된 SRMSE에 따른 관측값 대비 시뮬레이션 추정값의 정확도를 살펴보면, 유어선의 평균 출항 일수가 0.238로 오차율이 가장 크게 나타났으며, 유어선의 월평균 출항 선박 수가 0.14로 오차율이 가장 작게 나타났다. 일반적으로 표준화된 SRMSE는 0.05 이하의 경우 매우 높은 정확도를 나

타내며, 0에 가까울수록 양호한 수준으로 판단한다. 따라서 시뮬레이션 분석을 통해 추정한 어선과 유어선의 모델링 결과가 관측자료의 패턴과 유사하게 재현된 것으로 볼 수 있다. 상세한 검증을 위해서 어선과 유어선의 항목별로 시뮬레이션 모형의 정확도를 살펴보자.

〈표 5-19〉 시뮬레이션 모형 검증: 종합 분석 결과

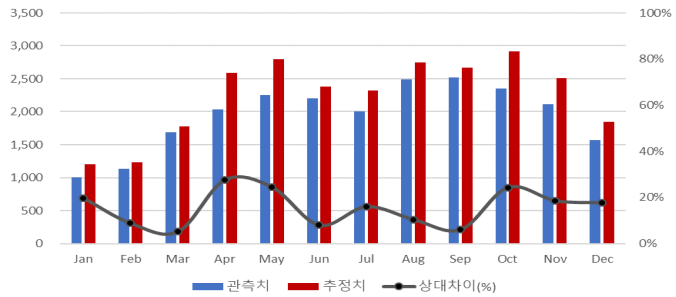
구분		관측치	추정치	RPD	SRMSE
어선	월평균 출항 선박 수	1,946	2,250	15.6%	0.179
	평균 출항 일수	18.9	18.9	0.0%	0.189
유어선	월평균 출항 선박 수	345	369	7.0%	0.140
	평균 출항 일수	21.6	20.9	3.2%	0.248

주: RPD(relative percentage difference): ((관측값-추측값)/관측값) * 100(%)
자료: 저자 작성

나. 항목별 분석

시뮬레이션 모형의 검증을 위한 종합 분석에 이어서 어선과 유어선의 구체적인 항목별로 관측자료와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 먼저, 월별 출항 어선 수를 살펴보면, 연중 하반기로 갈수록 시뮬레이션 모형의 결과가 관측자료보다 과추정되나 대체로 유사한 패턴을 나타낸다.

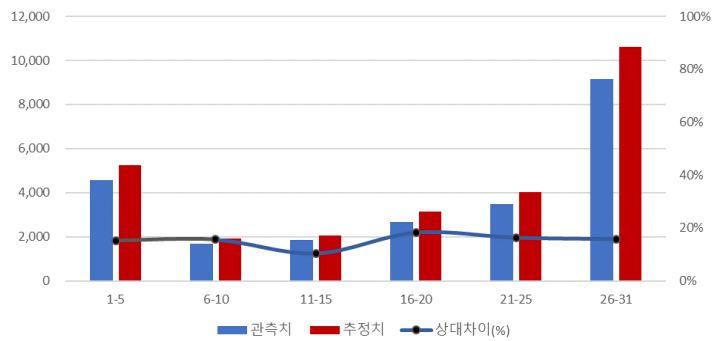
〈그림 5-14〉 어선 시뮬레이션 결과 비교: 월별 출항 어선 수



자료: 저자 작성

다음 평균 출항 일수에 대한 모형 검증을 위해서 6개 급간으로 구분하여 비교하였다. 어선의 평균 출항 일수를 비교해보면, 마찬가지로 관측자료와 시뮬레이션 결과가 전체 급간에서 20% 미만의 차이로 근사한 경향을 나타낸다. 따라서 시뮬레이션이 사례지역의 어선 행위를 잘 모의하는 것으로 판단된다.

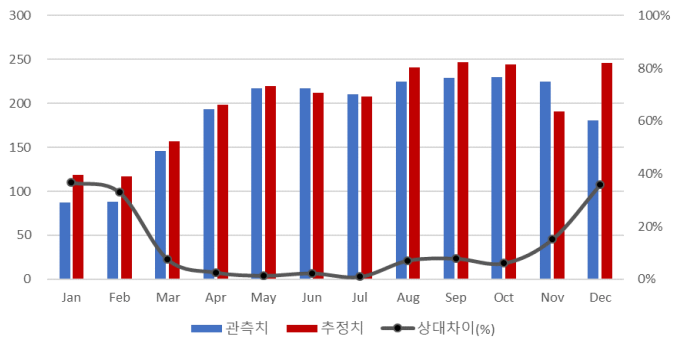
〈그림 5-15〉 어선 시뮬레이션 결과 비교: 평균 출항 일수



자료: 저자 작성

어선 시뮬레이션 결과에 이어 유어선의 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해서 사례지역에서 수집한 선박 자료와 비교하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저 월별 출항 선박 수를 비교하면, 연중 11월~2월을 제외하고 관측치와 매우 근사하게 나타나는 것으로 보인다. 사례지역에서 겨울철 낚시 관광을 위한 출항 빈도가 시뮬레이션을 통해서 과소 또는 과추정되는 원인을 파악하기 위해서 낚시 공간 선택 등 모형의 다른 요소에 대한 추가 분석이 필요할 것으로 보인다.

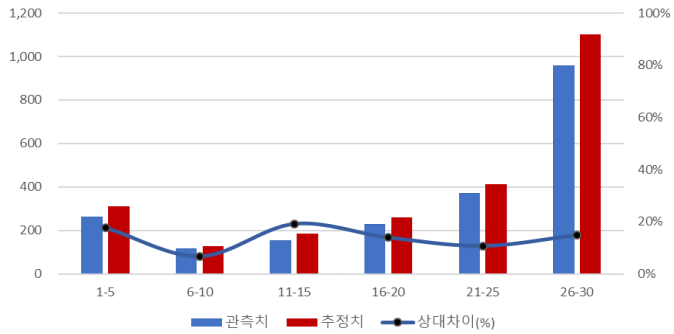
〈그림 5-16〉 유어선 시뮬레이션 결과 비교: 월별 출항 선박 수



자료: 저자 작성

다음 사례지역의 낚시 관광을 위한 평균 출항 일수를 관측자료와 시뮬레이션 추정자료를 비교하여 검증하였다. 어선과 마찬가지로 평균 출항 일수를 6개 급간으로 나누어 분석하였다. 모든 급간에서 두 자료의 차이가 약 20% 미만으로 유사한 패턴을 보이며 모형의 정확도가 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

〈그림 5-17〉 유어선 시뮬레이션 결과 비교: 평균 출항 일수



자료: 저자 작성

2) 시뮬레이션 타당성 분석

앞서 관측 데이터를 이용한 시뮬레이션 모형의 통계적 검증과 함께, 시뮬레이션 결과의 타당성을 평가할 필요가 있다. 이를 위해서 시뮬레이션 산출물을 이용해 누적영향지수와 공간상충지수를 산출하고, 이들 지수의 분포 특성과 공간분석 결과(국지적 통계량)를 통해서 시뮬레이션 결과가 실제 현상을 얼마나 잘 재현하는지를 분석하여 모형의 타당성을 진단할 것이다. 아울러 실제 모델링 대상인 해양 이용자의 관점에서 모형의 설계와 개발, 시뮬레이션 결과 등 연구 전반에 대한 의견을 수렴하고, 이를 토대로 시뮬레이션 모형 및 산출물에 대한 이해도와 신뢰도를 평가하여 기술의 타당성을 분석하고자 한다. 이러한 방식은 새로운 기술에 대한 정량적 평가뿐만 아니라 사용자 관점에서 정성적 평가의 필요성을 강조한 것이다.

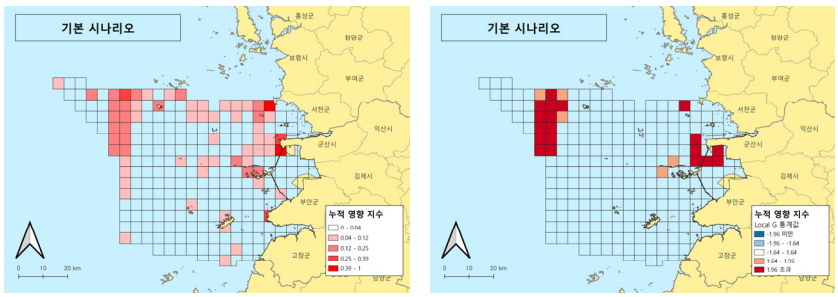
가. 누적영향지수

해양공간을 이용하는 행위가 생태계에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위한 누적영향평가는 생태계 측면에서 현재 이용 현황을 파악하는데 적합한 방법이다. 사례 해역의 격자 기반 공간환경에서 기본 시나리오에 따른 정책환경에서 누적영향지수를 산출하여 생태계 영향을 살펴보아 시뮬레이션 결과의 타당성을 검토한다. 본 연구에 적용한 누적영향지수 산출식은 본 보고서의 제4장 제3절(타당성 분석)에 제시하였다.

다음은 기본 시나리오를 적용한 시뮬레이션 결과를 이용해 누적영향분석을 시행하여 얻은 격자별 누적영향지수를 5개 급간으로 단계구분도로 표시하였다. 사례지역 중 어청도 서측해역, 서천군 연안, 군산항과 고군산도 부근에서 상대적으로 높은 누적영향지수가 나타났다. 특정 현상이 국지적으로 군집을 이루는 공간을 탐색하는 방법인 국지적 자기상관분석을 통해 국지적 통계량(G 통계량)을 살펴보면, 마찬가지로 어청도 서측, 서천군, 군산

항 인근에서 강한 군집 특성을 보인다. 이러한 결과는 (2018년 기준) 해양공간의 현 상태에서 생태계에 대한 이용행위의 강도가 상대적으로 높은 공간을 나타낸다.

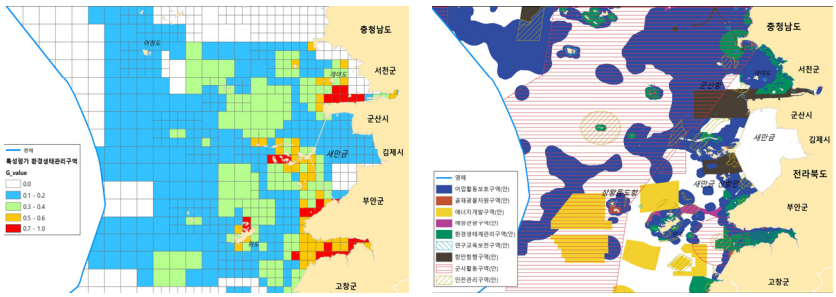
〈그림 5-18〉 누적영향지수 분포(좌측)와 국지적 통계량(우측)



자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과로 인한 누적영향지수의 분포를 평가하기 위해서는 누적영향분석에 영향을 미치는 생태계 현황과 이용 행태를 동시에 살펴보아야 한다. 해양수산부가 2022년 6월 29일에 고시한 전라북도 해양공간관리계획에 포함된 내용을 살펴보면, 환경·생태계관리구역 지정을 위해서 해양보호생물, 해양생태도, 생물다양성, 해양보호구역, 보호도서 등 환경 및 생태계 관련 현황을 기초로 특성평가를 수행하였다. 따라서 이 자료를 참고하여 전북 해역의 생태계 현황을 확인할 수 있다. 누적영향지수의 분포와 비교해보면, 서천군, 군산항, 고군산도 부근에서 누적영향지수와 유사한 패턴을 보이지만, 어청도 서측 해역은 누적영향지수와 다른 양상을 보인다.

〈그림 5-19〉 환경·생태계 특성평가(좌측), 용도구역 지정 현황(우측)



자료: 해양수산부·전라북도(2022). p. 80; p. 97.

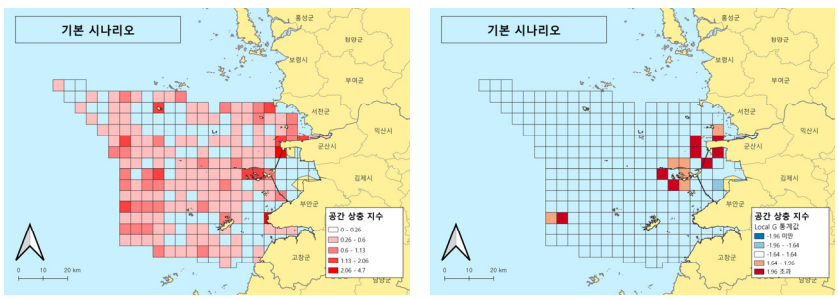
아울러 전라북도 해양공간관리계획에 포함된 해양공간 이용 현황과 상충 가능성, 그리고 타법에서 지정한 공간을 종합적으로 고려하여 지정한 용도구역을 검토하여 대상 해역의 이용 행태를 확인할 수 있다. 누적영향지수와 비교해보면, 군산항 부근과 어청도 서측 해역에서 어업활동보호구역과 항만·항행구역, 환경·생태계관리구역 등 다양한 용도구역이 인접하여 분포하고 있어 이 지역의 높은 누적영향지수를 설명하고 있다.

누적영향지수와 국지적 통계량을 통해 살펴본 시뮬레이션 결과의 타당성 분석 결과를 종합해보면, 사례 해역의 생태계 현황과 이용 행태를 비교하여 대체로 유사한 패턴을 보여 시뮬레이션 결과가 타당한 것으로 판단된다. 다만, 어청도 서측 해역 등 일부 지역은 현황과 다른 양상을 보인다. 이 부분은 특성평가와 다르게 본 연구에서 생태계 현황으로 어족자원의 분포를 함께 고려하였으며, 누적영향지수의 분포에 해당 지역의 높은 어족자원량이 반영되었기 때문으로 보인다. 후속 연구에서는 시뮬레이션 결과의 타당성 평가를 보완하기 위한 충분한 자료를 확보할 필요가 있다.

나. 공간상충지수

이용행위 간 상충 가능성이 있는 해양공간을 정량적으로 파악하기 위한 공간상충분석은 공간 차원에서 이용 현황을 파악하는데 적합한 방법이다. 사례 해역의 격자 기반 공간환경에서 기본 시나리오에 따른 정책환경에서 공간상충지수를 산출하여 상충 가능성을 살펴보아 시뮬레이션 결과의 타당성을 검토한다. 본 연구에 적용한 공간상충지수 산출식은 제4장 제3절에 제시한 타당성 분석을 참고할 수 있다.

〈그림 5-20〉 공간상충지수 분포(좌측)와 국지적 통계량(우측)



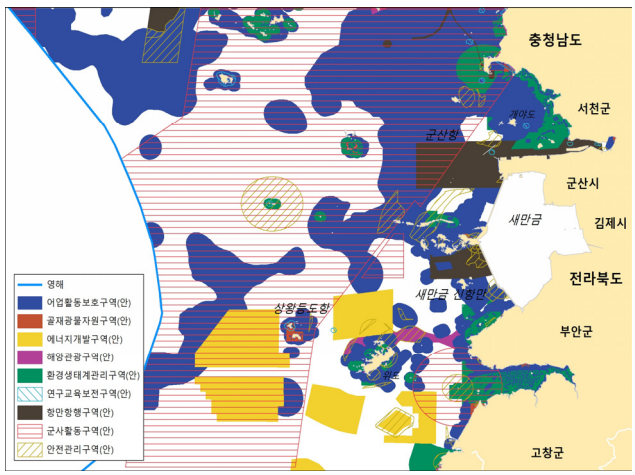
자료: 저자 작성

기본 시나리오를 적용한 시뮬레이션 결과를 이용해 공간상충분석을 실시하여 얻은 격자별 공간상충지수를 5개 급간으로 단계구분도로 표시하였다. 사례 해역에서 이용행위 간 상충성이 높은 공간은 주로 영해의 서쪽 경계와 왕등도 사이, 새만금 외측 연안 부근에서 나타난다. 이러한 공간 특성은 국지적 자기상관분석을 통해 산출한 국지적 통계량으로 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과로 인한 공간상충지수의 분포를 분석하기 위해서 공간상충분석을 결정하는 해양공간의 이용 행태를 살펴보아야 한다. 전라북도 해양공간관리계획을 살펴보면, 해양공간 이용 현황 등을 종합적으로 고려하

여 지정한 용도구역을 검토하여 사례지역의 이용 행태를 확인할 수 있다. 공간상충지수와 비교해보면, 우선 새만금 외측의 연안에는 어업활동보호구역, 항만·항행구역, 안전관리구역, 환경·생태계관리구역 등 다양한 이용행위가 집적되어 공간상충지수와 유사한 패턴을 보인다. 반면에 상왕등도 서측의 영해 경계 부근은 어업활동호보구역과 에너지개발구역, 군사활동구역이 다소 인접하여 있으나 공간상충지수와는 다른 패턴을 보인다.

〈그림 5-21〉 사례 해역의 용도구역 지정 현황



자료: 해양수산부·전라북도(2022), p. 97.

공간상충지수와 국지적 통계량을 통해 살펴본 시뮬레이션 결과의 타당성 분석 결과를 종합하면, 사례 해역의 이용 행태를 고려할 때 대체로 유사한 패턴을 보이므로 시뮬레이션 결과의 적절한 타당성을 나타내는 것으로 판단된다. 하지만 상왕등도 서측 해역 등 일부 지역은 현황과 다른 양상을 낸다. 이 부분은 시뮬레이션 결과의 정확도 검증이나 향후 연구에서 타당성 분석을 위한 충분한 자료의 수집으로 원인을 규명할 수 있을 것이다.

다. 이해관계자 대상 타당성 평가

해양공간계획 지원을 위한 행위자기반 시뮬레이션의 적용 및 활용 가능성에 대한 과학적 검증 외에도, 해양공간계획 정책 대상이 되는 실제 이해관계자의 입장과 견해를 이해하는 것도 시뮬레이션 기술의 이해도와 신뢰도를 향상하는 데 중요하다. 앞서 해양공간관리 제도 및 외부 여건 변화에 따른 시나리오 분석을 통해 산출된 행위자기반 시뮬레이션의 결과물에 대한 실제 이해당사자의 의견을 청취하고자 “정책 시뮬레이션 기술 설명회”를 개최하였다.

2022년 9월 7일(수) 오후 2시 익산역 부근 회의장에서 시뮬레이션 모델링의 대상이 되는 어업(수협중앙회), 관광(전북관광협회), 항만(군산지방해양수산청), 생태((사)생태지평), 기타(전북연구원) 분야별 관계자 또는 전문가를 초청해 설명회를 개최하였다. 본 연구의 개요와 시뮬레이션 결과에 대해 먼저 설명하고, 동영상을 통해 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 기술을 시연한 후에 참석자와 토론을 진행했다. 다음은 관계자와 전문가 토론을 통해 수렴한 의견 및 반영 계획을 정리한 것이다.

〈그림 5-22〉 기술 설명회 전경



자료: 저자 작성

설명회에서 나온 다양한 의견 중에서 시뮬레이션과 직접적으로 연관된 것은 다음과 같다. 첫째, 가능한 모델을 단순화하여 정책 실무에서 활용 가능성을 개선할 필요성이 있다. 시뮬레이션의 복잡도가 높아질수록 데이터의 요구사항과 모형에 대한 사용자의 이해도가 떨어질 수 있다. 시뮬레이션의 대상 행위를 설명할 수 있는 단순 명료한 규칙을 파악하여 설정하고, 비교적 복잡한 모델링 요소는 하위모델로 구분하여 통합 모델을 개발하도록 고도화 계획을 수립한다.

둘째, 시뮬레이션 분석 결과의 신뢰를 위해서 데이터의 품질 관리와 모델링 결과에 대한 정량적·정성적 평가가 중요하다. 시뮬레이션 기술이 정책 실무에서 활용되기 위해서는 무엇보다 분석 결과의 정확도와 타당성을 확보하는 것이 중요하며, 따라서 가능한 장기간의 데이터를 확보하여 모형을 구성하고, 통계적 기법을 활용한 시뮬레이션 결과의 정량적 평가와 함께 전문가 및 이해당사자의 의견을 수렴한 정성적 평가를 병행한다.

셋째, 시뮬레이션 환경 설정에서 해양공간의 연속성과 세분화가 필요하다. 해양공간은 물리적 경계가 없이 다양한 이용행위의 영향과 환경·생태계의 특성이 연속적으로 나타나므로 본 연구의 격자 기반 환경에서는 이러한 특성을 제대로 반영할 수 없다. 이러한 공간의 연속적인 현상을 재현할 수 있는 벡터 기반 시뮬레이션이 적합하지만, 격자 모형과 비교해 모델링의 복잡도가 높고, 대부분의 해양 자료가 격자 형태로 생산되어 시뮬레이션에 적용하는 데 한계가 있다. 이러한 기술적인 한계로 인해 인접 공간(격자)의 이용행위 및 생태 현황을 모델에 반영할 수 있는 분석기술을 적용하는 것이 효과적이다. 향후 연구에서 이러한 기술들을 검토하여 시뮬레이션을 고도화할 계획이다.

마지막으로, 시뮬레이션 기술의 정책적 활용성을 개선하기 위해서 지자체의 역할과 명확한 성과를 규정하는 것이 필요하다. 본 연구는 새로운 시

뮬레이션 기술에 대한 요구사항을 사전 분석하기 위해서 지자체 실무자를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 정책 시뮬레이션 기술의 활용체계에서 지자체의 기술 활용을 위한 전담 기관 운영, 교육 프로그램 지원, 지자체 업무에 활용하기 위한 조례 제정 등에 대한 사항을 추가한다. 또한, 시뮬레이션 기술을 이용한 시나리오 분석 결과를 지표와 연계하여 정책 실무에서 정책 대안에 따른 영향을 진단하고, 정책적 의사결정을 지원하도록 한다.

〈표 5-20〉 시뮬레이션 기술 설명회 의견 및 반영 계획

참석 기관	의견	반영 계획
수협 중앙회	• 수산물시장, 물류 등 정성적 요소에 대한 모델링 필요 • 일부 모델링 자료(어획량 등)의 신뢰도 검토 필요 • 시뮬레이션 공간해상도 세분화(1분 격자) 적용	• 외부 변수로써 추가 적용하여 향후 모델을 고도화 반영 • 어획량 대신 CPUE 개념을 통해 자원량 정보 적용 • 공간 세분화는 향후 고도화 반영
전북관광 협회	• 모델의 복잡도와 활용 가능성을 고려해 간소화 필요 • 낚시 관광 외에 다양한 관광행위 모델링 필요 • 시뮬레이션 연구의 정성적 판단 필요	• 핵심 활동 위주로 모델을 간소화 • 데이터 여건 및 모델링 가능성을 검토하여 추가 행위 고려 • 전문가 의견 등 정성적 평가 보완
군산지방 해양수산청	• 용도구역에 대한 분명한 설정 기준 및 우선 선위 필요	• 해양공간계획 제도의 개선사항
생태지평	• ABM은 분석 결과를 가시적으로 확인할 수 있는 유용한 정책 수단 • 해양공간의 연속성을 반영할 수 있는 기술 필요 • 새만금 개발로 인한 철새 서식지 변화 등 구체적인 모델의 적용 필요 • 정책수용 측면에서 지자체의 역할에 대한 실행 방안 필요	• 시뮬레이션 결과뿐만 아니라 과정을 시·공간 차원에서 가시화 가능 • 향후 인접 격자의 현황을 모델에 반영할 수 있는 기술 검토 • 고도화 단계에서 구체적인 현안을 파악하여 개별 모델 개발 검토 • 기술 교육 및 조례 제정 등 기술의 활용체계 반영

참석 기관	의견	반영 계획
전북 연구원	• 시뮬레이션 결과의 신뢰를 위해서 실증 데이터 확보 중요 • 모델의 단순화를 위해 행위자별 하위 모델 구성 필요 • 시뮬레이션 결과의 활용을 위해 명확한 성과 추가	• 향후 추가 자료 확보를 통해 모델 신뢰도 개선 • 기술 고도화 계획에 하위 모델 구성에 관한 내용 반영 • 시뮬레이션 결과를 지표와 연계하여 정책 활용

자료: 저자 작성

2. 시나리오 분석 결과

해양공간계획 지원을 위한 ABM의 적용성 및 활용 가능성을 검증하기 위한 시나리오 기반 사례분석은 어선, 유어선, 상선 행위자의 수익과 비용, 효율성 측면에서 시나리오별로 비교 검토하였다. 시나리오 분석 결과를 설명하기에 앞서, 본 연구는 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션의 적용 가능성을 검토하기 위해 프로토타입 모형을 개발하고, 전북 해역을 대상으로 시나리오 분석을 수행하는 기초연구이다. 따라서 대상 해양공간의 이용행위와 환경·생태계 구성요소에 대한 정교한 이론 및 모델을 적용하지 못하였으며, 따라서 해양공간계획 실무 현장에 직접 활용할 수 있는 수준의 현실적인 결과를 도출하기는 어렵다는 한계가 있다. 본 장의 제4절에서 연구의 시사점과 더불어 한계점에 대해서 다시 논의하겠다.

1) 어선 행위자

시나리오별 어선 파라미터의 변화를 비교 분석한 결과를 종합적으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 시나리오별 어선의 수익을 살펴보면 기본 시나리오의 수익이 가장 높고, 해상풍력단지 시나리오에서 가장 낮은 경향을

보인다. 이것은 해상풍력단지 입지로 인해 중요한 어장에 대한 접근이 어려워 발생한 현상으로 해석된다. 다음으로 시나리오별 비용을 살펴보면 해상풍력단지 시나리오를 제외하고 매우 유사한 경향을 보이는데, 마찬가지로 해상풍력단지 입지로 인해 전반적으로 어장의 접근성이 떨어짐에 따라 비용(유류비)이 증가한 것으로 보인다. 효율성 측면에서 기본 시나리오와 비교하면 모든 시나리오에서 유사한 경향을 보이지만, 해상풍력단지 입지로 인한 효율성은 뚜렷한 감소세를 나타낸다. 다만, 효율성 측면에서는 용도구역 지정과 기후변화 시나리오에서 큰 차이는 없다.

〈표 5-21〉 시나리오별 어선의 파라미터(연평균)

시나리오	수익	비용	효율성
기본	75.373	18.861	4.002
용도구역	74.934	18.862	3.978
정책 수용성	74.169	18.885	3.934
해상풍력단지	73.638	18.985	3.884
기후변화	74.807	18.873	3.971

자료: 저자 작성

시뮬레이션 분석 결과를 종합하자면, 용도구역 정책 수단이나 기후변화와 같은 정책환경의 변화에 따른 어업의 영향은 비교적 적을 것으로 전망되는 반면에 사례지역의 해상풍력단지 입지로 인한 영향은 어장의 접근성 변화로 다소 뚜렷한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

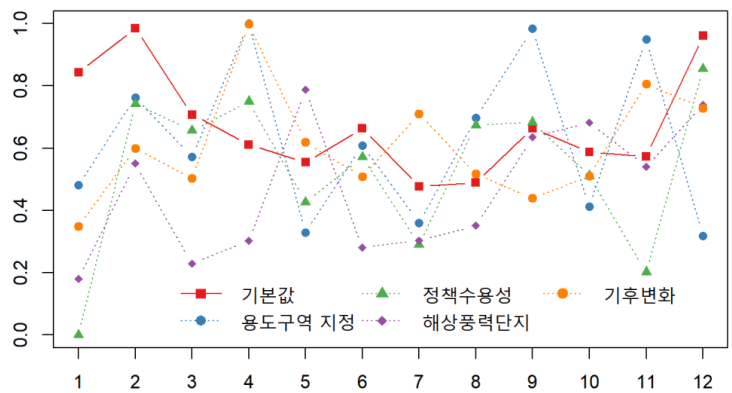
가. 수익: 조업으로 인한 수입

어선의 조업 활동으로 인한 수익의 월별 변화는 시나리오에 따라 상대적인 차이가 있으며, 대체로 매월 수익의 상승과 하락이 반복되는 경향이다.

다만 이는 수익을 표준화하여 상대적인 값을 확인한 것으로, 시나리오에 따라 실제 값의 차이는 크게 나타나지는 않는다.

다음은 어선 수익의 월별 변화를 비교한 그래프이다. 시나리오에 따른 수익의 변화를 강조하고자 0~1의 값으로 표준화했다. 그래프에서는 기본 시나리오 외에 용도구역, 정책수용성, 해상풍력단지, 기후변화 시나리오에 대한 어선 수익의 변화를 나타낸다.

〈그림 5-23〉 시나리오별 어선 수익의 월별 변화



자료: 저자 작성

〈그림 5-23〉의 내용을 구체적으로 살펴보면, 시나리오에 따라 상대적 변화양상이 다소 상이하게 나타남을 확인할 수 있다. 정책 수단 및 환경의 변화에 따른 효과를 비교 검토하기 위한 기본 시나리오와 비교해보았을 때 용도구역을 가정한 시나리오에서 월별 수익의 변동 폭이 가장 크게 나타나며, 5~7월 사이에 가장 낮은 수치를 보인다. 기준 시나리오의 변화가 완만한 것과 비교해서 용도구역 시나리오의 변화 경향이 뚜렷한 것으로 보아, 결과적으로 용도구역 지정으로 인한 어장 교체가 월별 조업량에 분명한 영

향을 미치는 것으로 보인다.

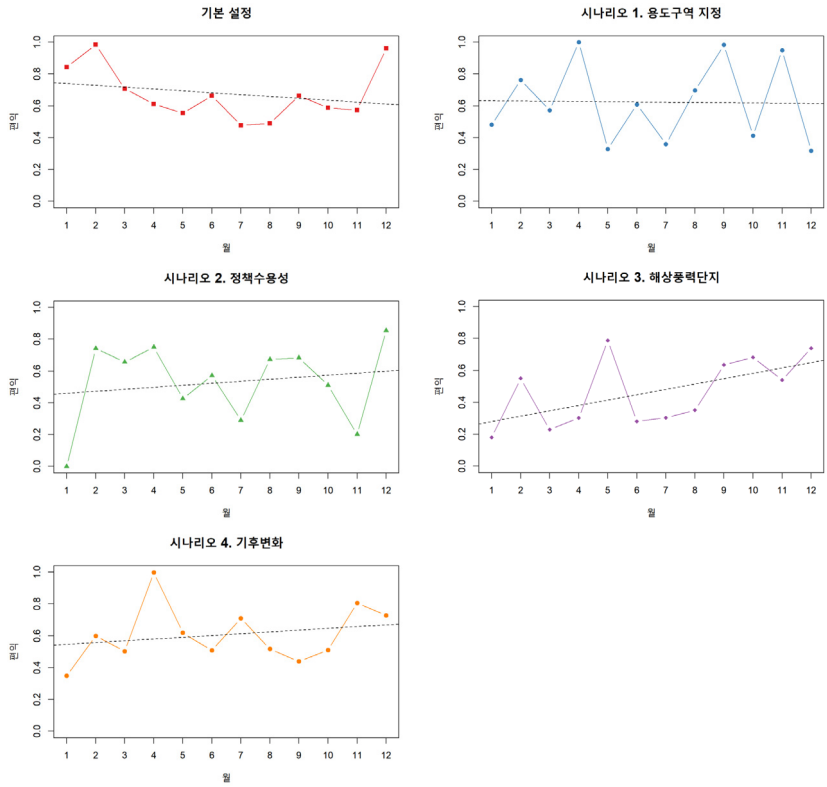
지역주민의 정책 수용성에 따른 어민 수익의 영향을 살펴보면, 기준 시나리오나 용도구역 시나리오와 비교해 월별 내림세가 뚜렷하지만, 상승세는 둔화하여 나타난다. 이는 용도구역 정책 수단에 대한 지역주민의 정책 수용성이 어민 수입에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

사례 해역에서 해상풍력단지가 자리 잡는 경우 조업 행위에 미치는 영향을 살펴보면, 5월을 제외하고 연중 가장 낮은 수익을 나타내어 대체로 어민 수익 측면에서 가장 부정적인 효과를 나타낸다. 따라서 전북 해역의 해상풍력단지 입지가 중요한 어장의 접근성에 분명한 영향을 미치는 것으로 추측할 수 있다. 특히, 1월에서 8월까지 연중 상반기에 가장 뚜렷한 효과를 보인다.

어류생태의 성장률에 영향을 미치는 기후변화 시나리오를 살펴보면, 기준 시나리오의 겨울철 상승 경향과 다르게 3~5월 사이에 수익의 뚜렷한 상승세를 나타내어 기후변화로 인한 생태계 변화를 간접적으로 확인할 수 있다. 다른 시나리오와 비교해 전반적으로 수익의 변동 폭이 작아 단기적으로 어민 수입에 대한 영향이 가장 미미한 것으로 판단된다. 다만, 기후변화로 인한 장기적인 경향은 다르게 나타날 수 있다.

수익의 월별 변화를 추세선으로 살펴보면, 시나리오에 따라 다소간의 차이가 있음을 다시 확인할 수 있다. 기준 시나리오를 제외한 대부분 시나리오에서 시간에 따른 수익의 증가세를 보인다. 추세선과 비교하면 여러 시나리오 중 용도구역 시나리오에서 가장 큰 변동을 나타낸다. 종합적으로 정책 수단과 환경의 변화가 사례 해역의 조업으로 인한 수익에 부정적이며, 월별 변동 폭이 커지면서 어민의 수익 안정성이 열악해지는 것으로 보인다. 다만, 시나리오에 따른 어민의 영향을 현실적으로 판단하기 위해서 수익뿐만 아니라 조업으로 인한 비용과 효율성 변화를 모두 검토할 필요가 있다.

〈그림 5-24〉 시나리오별 어선 수익 변화 및 추세선

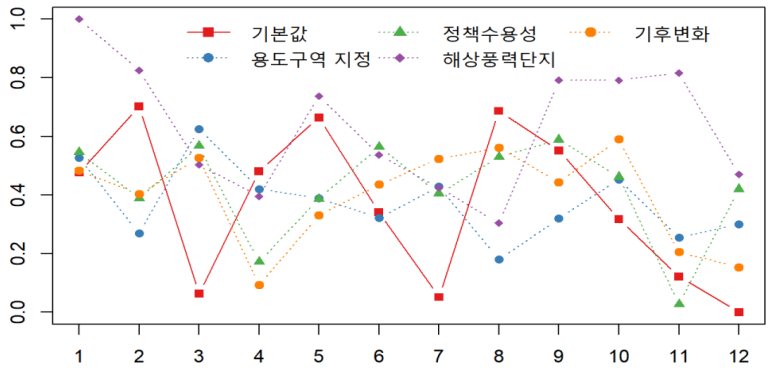


자료: 저자 작성

나. 비용: 조업으로 인한 유류비

앞서 조업 수익에 이어서 시나리오 설정에 따른 비용, 즉 어장 이동으로 인한 유류비의 변화를 살펴보고자 한다. 마찬가지로 비용은 0부터 1까지의 값으로 표준화하였다. 〈그림 5-25〉는 어선 비용 변화에 관한 다섯 시나리오의 시계열 변화를 비교한 그래프이다. 전반적으로 앞서 수익의 경향성과 다르게 비용은 기준 시나리오와 비교해 월별 변동 폭이 작고, 해상풍력단지 시나리오를 제외하면 비용이 대체로 낮게 나타났다.

〈그림 5-25〉 시나리오별 어선 비용의 월별 변화



자료: 저자 작성

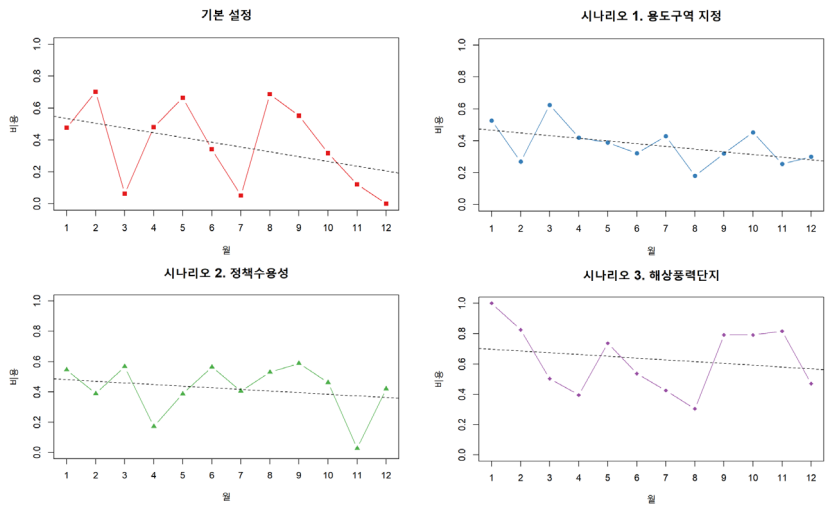
용도구역 지정을 가정한 시나리오는 기준 시나리오와 비교해 월별 비용의 변화가 작은데, 이는 어장 공간이 조업 활동을 우선하는 어업활동호보구역과 유보구역으로 한정되어 월별 어장의 선택 폭이 상대적으로 작으므로 항행으로 인한 비용 변화가 작은 것으로 추측된다. 또한, 비교적 장거리 혹은 단거리에 위치하는 어장이 타 용도구역으로 지정되어 조업이 불가한 경우로 볼 수 있다. 용도구역 지정으로 인한 어장 변화가 비용에 영향을 미치며, 결과적으로 용도구역 지정을 통해 어민의 월별 비용 안정성은 높아지는 것으로 보인다.

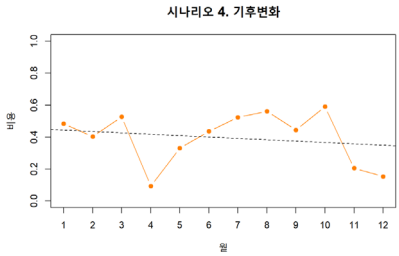
용도구역 수단에 대한 정책 수용성은 대체로 비용에 대해 유사한 경향을 나타내며, 용도구역 시나리오와 비교해 연중 4월과 11월에 상대적으로 큰 폭의 감소세를 보인다. 따라서 지역 주민의 정책 수용성은 특정 시기의 어장 선택에 영향을 미치는 것으로 보인다. 사례 해역에 해상풍력단지의 입지를 가정할 경우 연중 어장으로 이동하는 데 투입되는 비용이 전반적으로 상승하는 것으로 보인다. 해상풍력단지는 사례 해역의 특정 공간을 차지하며 조업 공간을 상당히 축소하고, 결과적으로 어장의 접근성을 악화시켜 비용 상승을 불러온다. 기준 시나리오와 비교해보면 연중 10~1월 사이의

겨울철에 조업 비용의 상승이 뚜렷하게 나타난다. 어류생태의 변화를 가정하는 기후변화 시나리오는 용도구역, 정책 수용성, 해상풍력단지 시나리오와 다른 경향을 보이며 연중 4월과 12월에 비용의 감소세를 나타낸다. 용도구역과 해상풍력단지 시나리오와 달리 기후변화 시나리오는 사례지역에서 물리적인 조업 공간의 제약이 없으므로 기후변화에 따라 어족자원이 변화하여 나타나는 결과로 해석할 수 있다.

비용의 월별 변화를 추세선으로 살펴보면, 시나리오에 따라 다소간의 차이가 있음을 다시금 확인할 수 있다. 기준 시나리오와 비교해 대부분 시나리오에서 시간에 따른 비용의 변동 폭이 축소된다. 추세선과 비교하면 기준 시나리오를 제외하고 해상풍력단지 시나리오에서 가장 큰 변동성을 보인다. 종합하자면, 해상풍력단지를 제외한 정책 수단과 환경의 변화가 대체로 사례 해역의 조업 비용을 감소시키며, 동시에 월별 변동성을 축소하여 안정성을 높이므로 긍정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다. 이어서 시나리오에 따른 비용 대비 수익, 즉 효율성 차원에서 영향을 살펴보겠다.

〈그림 5-26〉 시나리오별 어선 비용 변화 및 추세선



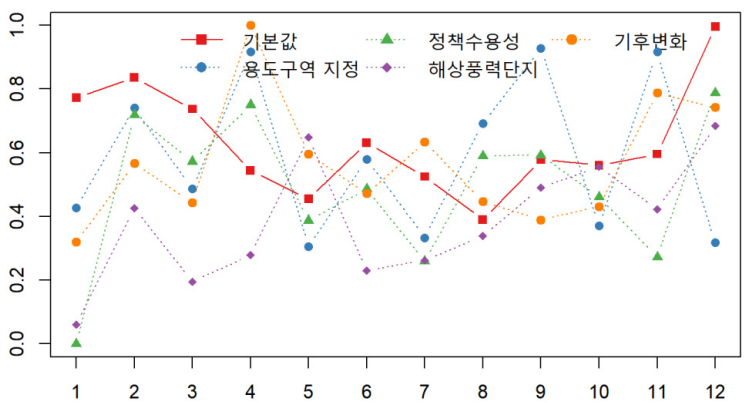


자료: 저자 작성

다. 효율성: 비용 대비 수익

수익과 비용의 변화를 동시에 고려하여 시나리오 효과를 효율성 측면에서 살펴보겠다. 마찬가지로 효율성의 상대적 차이를 비교하기 위해서 0부터 1까지의 값으로 표준화하였다. 다음은 효율성 변화에 관한 시나리오별 시계열 변화를 비교한 그래프이다. 대체로 기준 시나리오와 비교해 연중 어업의 낮은 효율성을 보이며, 월별 변동 폭이 다소 크게 나타난다.

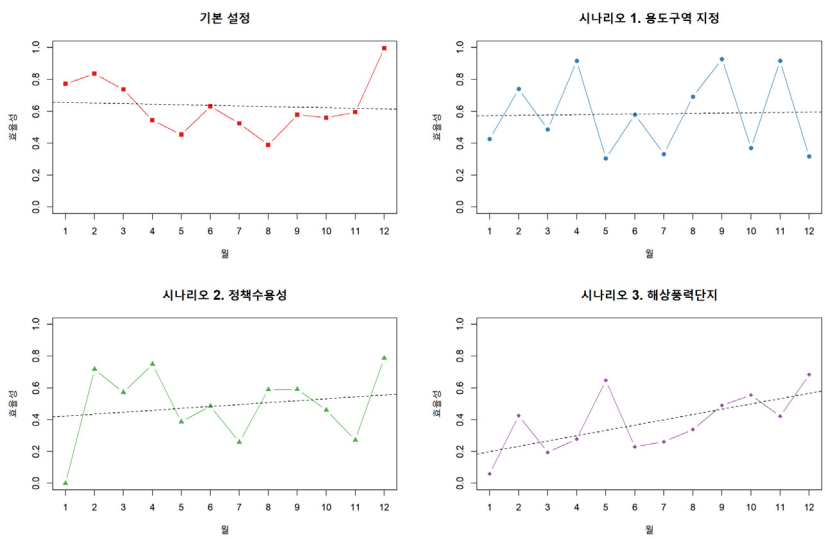
〈그림 5-27〉 시나리오별 어선 효율성의 월별 변화

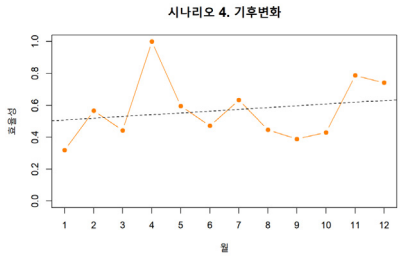


자료: 저자 작성

사례 해역에서 용도구역을 가정하는 시나리오는 기준 시나리오와 비교해 월별 등락 폭이 뚜렷하게 나타난다. 용도구역 지정은 어민으로부터 어장 선택의 변화를 초래하므로 어장의 변화로 인한 조업 효율성의 영향으로 해석할 수 있다. 용도구역 시나리오에 따른 효율성의 월별 변동 폭이 크므로 기준 시나리오와 비교해 전반적으로 효율성이 개선 또는 악화한 것으로 볼 수 없고, 앞서 제시한 연평균 자료에서도 두 시나리오의 효율성 차이는 미미한 것으로 나타났다. 그럼에도 용도구역 지정 후 조업으로 인한 효율성의 안정성 차원에서 부정적인 효과로 평가될 수 있다. 마찬가지로 여러 시나리오 중 해상풍력단지 입지로 인한 조업 효율성의 영향이 가장 분명하게 추정되었다.

〈그림 5-28〉 시나리오별 어선 효율성 변화 및 추세선





자료: 저자 작성

2) 유어선 행위자

시나리오별 유어선 파라미터의 변화를 종합 분석한 결과를 살펴보면 다음과 같다. 시나리오에 따른 유어선의 수익을 살펴보면, 기본 시나리오와 비교해 모든 시나리오가 근사한 수치를 보이며, 기후변화 시나리오의 수익이 조금 상승하였다. 비용 측면에서는 용도구역 시나리오를 제외하고 모든 시나리오에서 기준 시나리오보다 감소 경향을 보였다. 특히, 해상풍력단지로 인한 비용의 감소 폭이 가장 큰 것으로 추정된다. 비용 대비 수익을 통한 낚시 관광의 효율성은 시나리오별 수익 차이가 없어 근사한 경향을 보인다.

〈표 5-22〉 시나리오별 유어선의 파라미터(연평균)

시나리오	수익	비용	효율성 (수익/비용)
기본	0.034	20.961	0.002
용도구역	0.033	20.970	0.002
정책수용성	0.033	20.929	0.002
해상풍력단지	0.034	20.861	0.002
기후변화	0.036	20.900	0.002

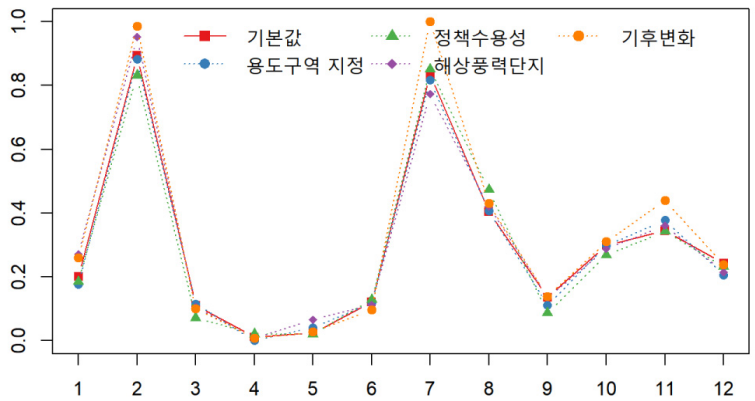
자료: 저자 작성

시뮬레이션 분석 결과를 종합하자면, 용도구역 정책 수단이나 정책 수용성 등 정책환경의 변화에 따른 낚시 관광의 영향은 비교적 적을 것으로 전망되는 반면, 사례지역의 경우 해상풍력단지 입지로 인한 낚시 공간의 접근성 변화로 다소의 영향을 미칠 것으로 예상된다.

가. 수익: 낚시 관광으로 인한 만족도

다음은 낚시 관광을 위한 유어선의 시뮬레이션 결과를 수익과 비용, 효율성 차원에서 살펴보겠다. 시나리오 설정에 따른 유어선 수익의 상대적 차이를 비교하기 위해서 0~1 사이의 표준값을 적용하였다. 시뮬레이션 결과, 전반적으로 기준 시나리오와 비교해 모든 시나리오의 패턴이 매우 유사하게 나타났다. 따라서 시나리오에 따른 정책 수단 및 환경의 변화가 유어선의 수익, 즉 낚시 관광으로 인한 만족도에 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다. 사례 해역(전북 관할해역)에서 관광 활동을 위한 해양관광구역의 비중(0.5%)이 작고 지역별(격자) 만족도를 결정하는 변수(어족자원)의 차이가 없다. 따라서 용도구역 지정, 정책 수용성, 해상풍력단지 입지로 인한 해양관광 활동의 여건 변화가 극히 미미한 것으로 보인다. 기후변화 시나리오에 따르면, 어업과 마찬가지로 관광행위(낚시 관광)에 대한 단기간 영향이 미진하지만, 연중 2월, 7월, 11월의 만족도 수준이 기준 시나리오보다 높게 나타나 기후변화로 인한 해양관광의 만족도는 상승하는 것으로 보인다.

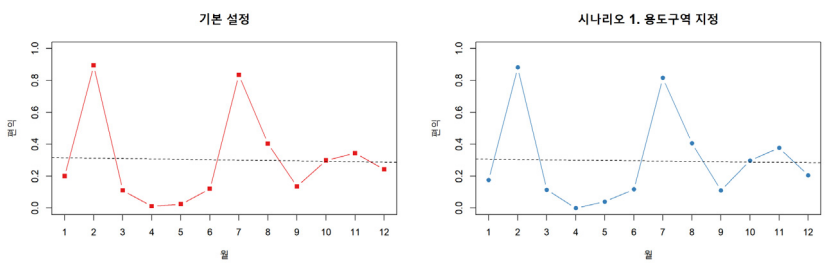
〈그림 5-29〉 시나리오별 유어선 수익의 월별 변화

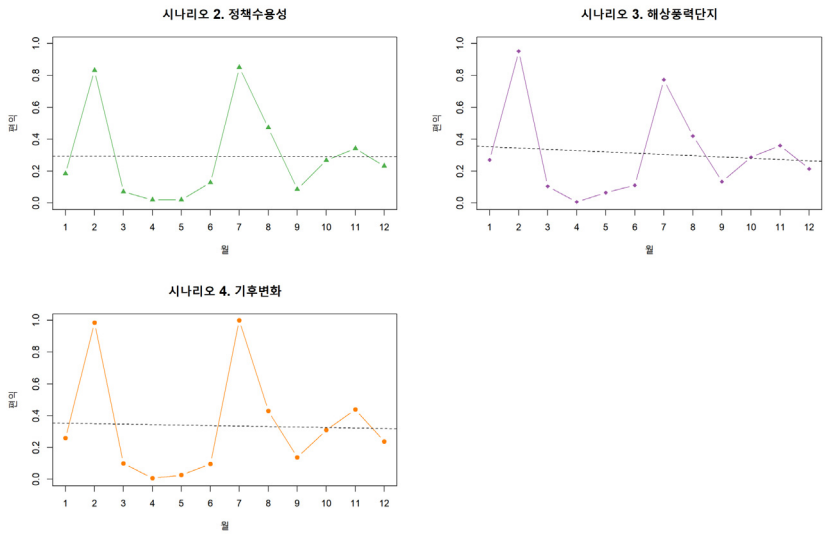


자료: 저자 작성

〈그림 5-30〉은 시나리오별 유어선 수익의 월별 변화와 추세선을 나타낸 그래프로, 모든 시나리오의 월별 변화 경향이 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 후속 연구에서 적합한 시나리오 설정과 공간 스케일의 조정을 통해서 정책 수단·환경 변화에 따른 해양관광 행위의 영향을 명확하게 규명하도록 개선할 필요가 있다.

〈그림 5-30〉 시나리오별 유어선 수익의 변화 및 추세선





자료: 저자 작성

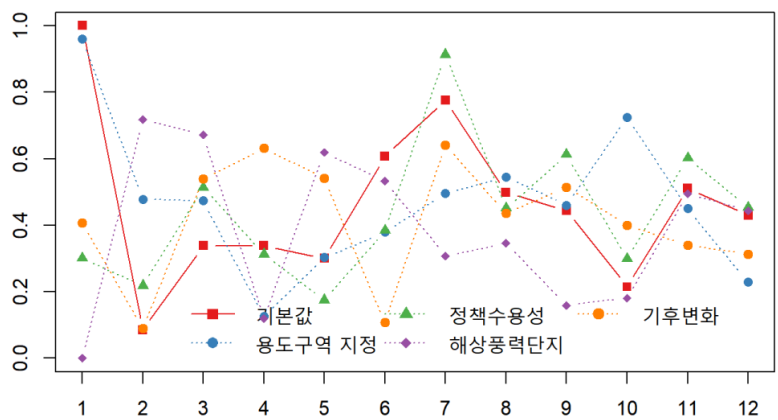
나. 비용: 낚시 활동으로 인한 유류비

앞서 유어선 수익과 다르게 낚시 활동으로 인한 유류비의 월별 경향은 시나리오별로 상이하게 나타난다. 기준 시나리오의 유류비는 연중 1월과 6~8월 여름철에 높은 경향을 보이지만, 용도구역 시나리오는 1월과 10월에 낚시 관광으로 인해 유류비가 상승한다. 대체로 유사한 경향을 보임에도 유어선의 유류비 변동은 낚시 관광을 위한 항해 거리에 의한 것으로, 용도구역 지정이 월별 주요 낚시 공간에 영향을 미친 것으로 보인다.

용도구역 정책에 대한 주민들의 정책 수용성에 대한 시나리오는 기준 시나리오와 유사한 경향성에도 비용의 월별 변동 폭이 크게 나타난다. 연중 5월의 하락세가 크고 7월의 상승세가 뚜렷하게 나타나며, 기준 시나리오에서 나타나는 1월 유류비용의 상승 경향은 나타나지 않는다. 정책 수용성에 따른 비용의 영향은 연중 패턴보다 월별 패턴에서 명확하게 나타난다.

한편, 사례지역의 해상풍력단지 입지로 인한 유어선의 비용은 기준 시나리오와 전혀 다른 양상을 보인다. 대체로 연중 상반기에 비용이 증가하고, 하반기에 감소하는 경향을 나타내며, 4월과 9~10월의 하락세가 뚜렷하다. 따라서 이 지역에서 해상풍력단지 입지는 낚시 공간의 접근성을 변화시키고, 그로 인해 낚시 활동에 영향을 미치는 것으로 보인다. 마지막으로 기후변화로 인한 유어선의 월별 유류비 변화를 살펴보면, 기준 시나리오와 비교해 연중 3~4월 상승세, 6월의 하락세가 뚜렷하여 이 시기에 낚시 공간의 변화가 큰 것으로 보인다.

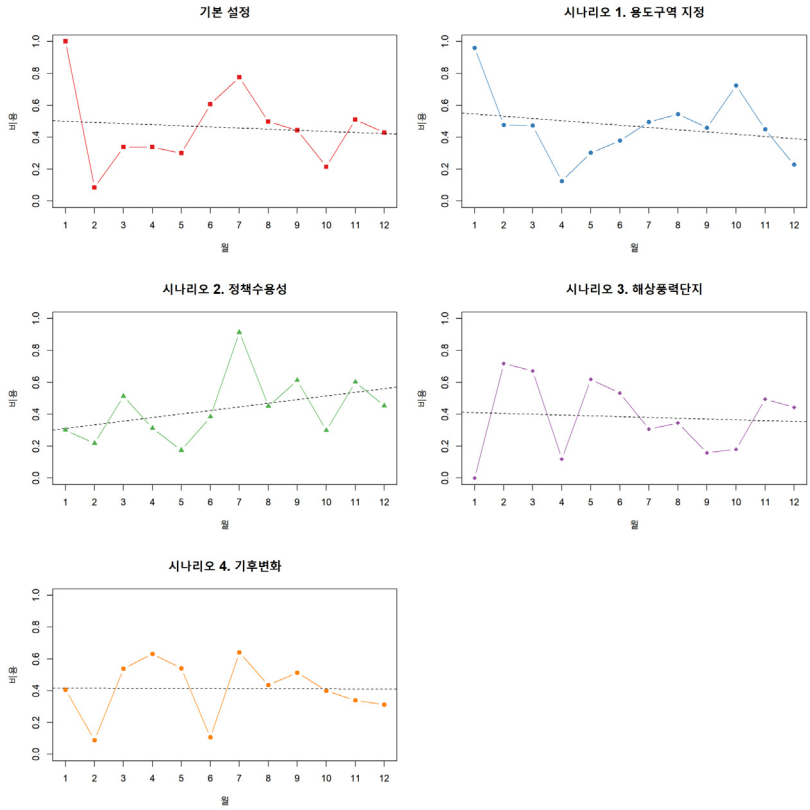
〈그림 5-31〉 시나리오별 유어선 비용의 월별 변화



자료: 저자 작성

그림 5-13은 시나리오별 유어선 비용의 월별 변화와 추세선을 나타낸 그래프이다. 정책 수용성 시나리오를 제외하고 모두 하향 추세선을 보이며, 정책 수용성에 따른 비용 변화는 상승세를 나타낸다. 정책 수단·환경 변화에 대한 시나리오에 따른 유어선 비용의 월별 추세와 유어선의 낚시 공간의 변화를 함께 검토할 필요가 있다.

〈그림 5-32〉 시나리오별 유어선 비용의 변화 및 추세선



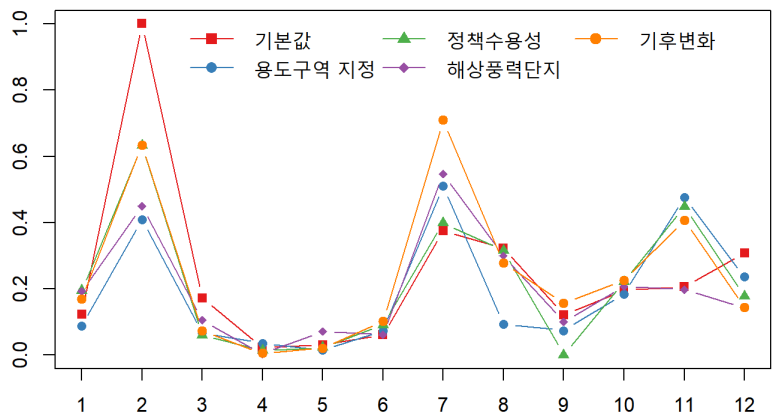
자료: 저자 작성

다. 효율성: 비용 대비 수익

낚시 관광으로 인한 수익과 비용을 함께 검토하여 정책 수단·환경 시나리오에 따른 영향을 유어선 운영의 효율성 차원에서 살펴보겠다. 마찬가지로 효율성의 상대적 차이를 비교하기 위해서 0~1 값으로 표준화하였다. 다음은 시나리오별 월별 효율성 변화를 비교한 그래프이다. 기준 시나리오와

비교해 대부분 시나리오가 낚시 관광의 효율성이 연중 유사한 경향성을 보이며, 매월 효율성의 변동 폭은 다소 차이가 있다. 2월은 모든 시나리오가 기준 시나리오에 비해 낮은 효율성을 보이며, 7월과 11월은 해상풍력단지 시나리오를 제외하고 높은 효율성을 나타낸다. 정책 수단·영향에 대한 모든 시나리오 중에서 기후변화를 가정한 시나리오가 연중 높은 효율성의 낚시 관광 행태를 보인다.

〈그림 5-33〉 시나리오별 유어선 효율성의 월별 변화

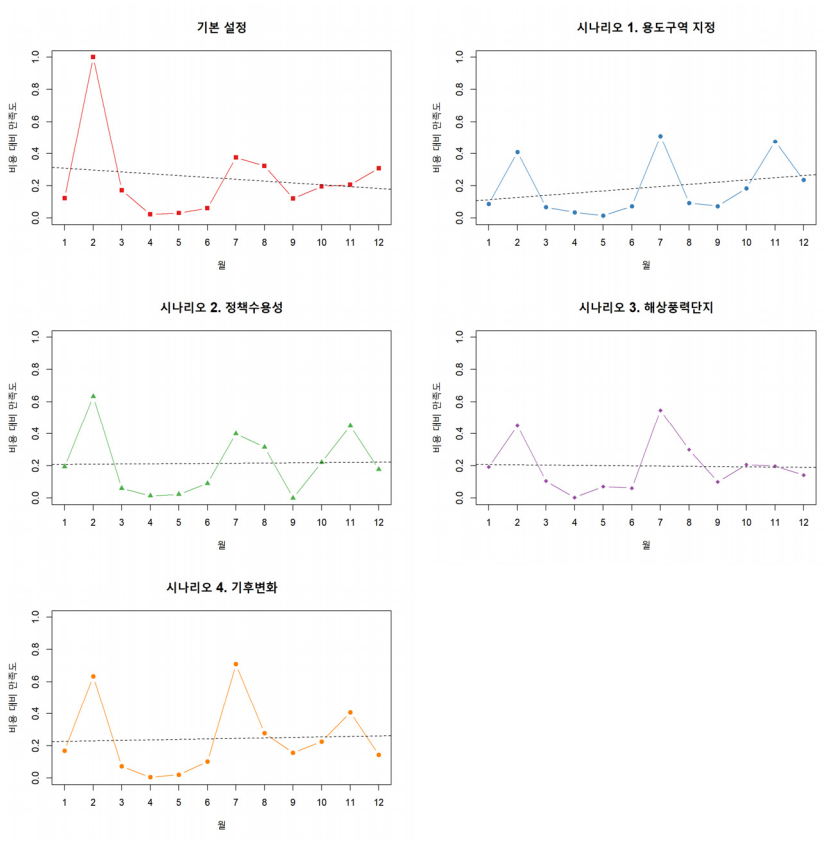


자료: 저자 작성

다음은 시나리오별 낚시 관광의 효율성에 대한 월별 변화와 추세선을 나타낸 그래프이다. 기준 시나리오는 2월에 높은 효율성을 나타내지만, 7~8월 여름철을 제외하고 연중 낚시 관광의 낮은 효율성을 보인다. 용도구역, 정책 수용성 등 시나리오는 유사하게 2월과 7월에 효율성이 다소 회복되나, 겨울철 완만한 상승세와 다르게 11월에 가파른 상승 경향을 보인다. 반면 해상풍력단지 입지를 가정한 시나리오는 기준 시나리오의 연중 효율성과 가장 유사한 패턴을 보이지만, 2월과 7월에 효율성이 회복되는 정도는 차이가

있다. 앞서 시나리오별 유어선의 수익이 유사하므로 결과적으로 이러한 효율성의 차이는 낚시 관광의 비용 차이에서 기인하는 것으로 보인다.

〈그림 5-34〉 시나리오별 유어선 효율성의 변화 및 추세선



자료: 저자 작성

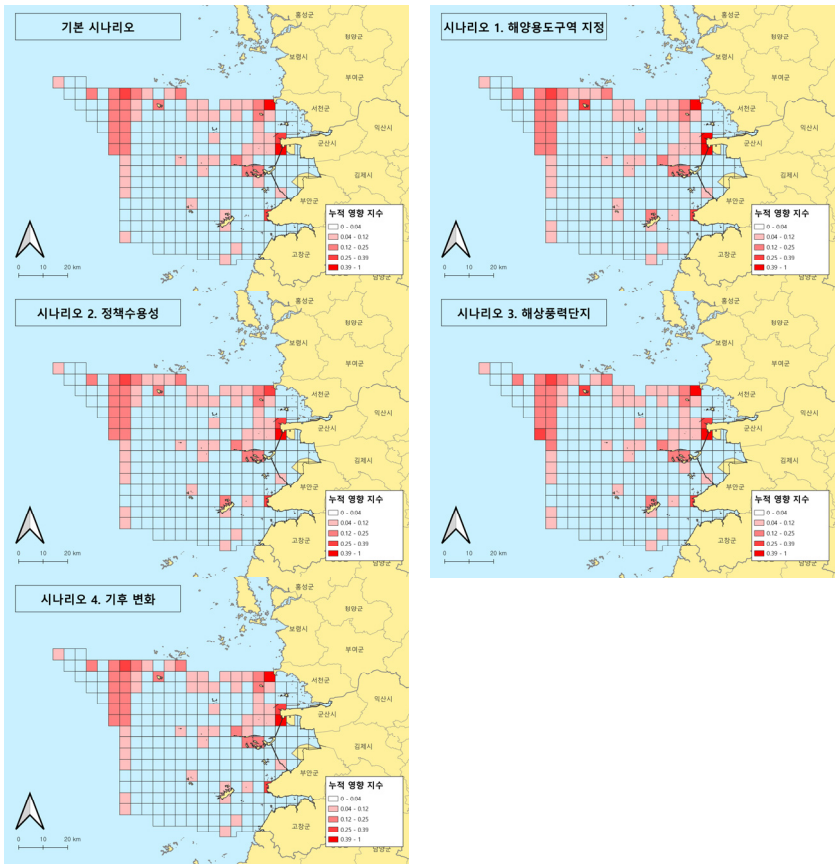
3) 누적영향평가

가. 누적영향지수의 분포

누적영향은 특정 행위가 자원의 분포, 생태계, 인간에 미치는 총체적 영향을 의미한다. 이는 인간의 활동이 특정 지역 생태계에 미치는 영향을 확인하기 위한 것으로, 정량적으로 확인하기 위하여 누적영향지수를 산출한다. 누적영향지수의 공간적 분포는 정책 수단·환경의 설정에 따른 행위의 변화를 생태계 측면에서 파악할 수 있는 적합한 방법이다. 다음은 시나리오별 누적영향지수를 단계구분도로 시각화한 결과이다. 단계구분도는 5개 급간으로 분류하였으며, 시나리오별 비교를 위해서 동일 간격(equal interval)으로 설정하였다.

누적영향지수 분포를 살펴보면, 모든 시나리오의 양상이 거의 일치하며 다소간의 차이를 보이며, 사례지역의 연안 부근과 북서쪽 해역에서 누적영향지수가 높게 나타난다. 서천군 근처와 군산시의 비응도, 부안군 격포해수욕장 부근이 가장 높은 수치에 해당한다. 용도구역과 해상풍력단지 시나리오에서는 다른 시나리오와 다르게 어청도 근처 해안이 가장 높은 급간에 포함된다는 차이가 나타난다. 이를 제외한 모든 시나리오의 양상은 비슷하게 나타났는데, 대부분 섬과 육지 근처에서 누적영향지수가 크게 나타나며, 북서쪽 해안 일부에서도 높은 지수가 나타난다. 이러한 결과를 통해 어청도 부근과 연안 부근에 생태계에 영향을 미치는 행위들이 밀집하는 것으로 이해할 수 있다. 후속 연구에서는 시나리오 설정에 따른 누적영향지수의 공간적 패턴을 더욱 잘 규명하도록 누적영향분석 방법론을 고도화시킬 필요가 있다.

〈그림 5-35〉 누적영향지수 단계구분도



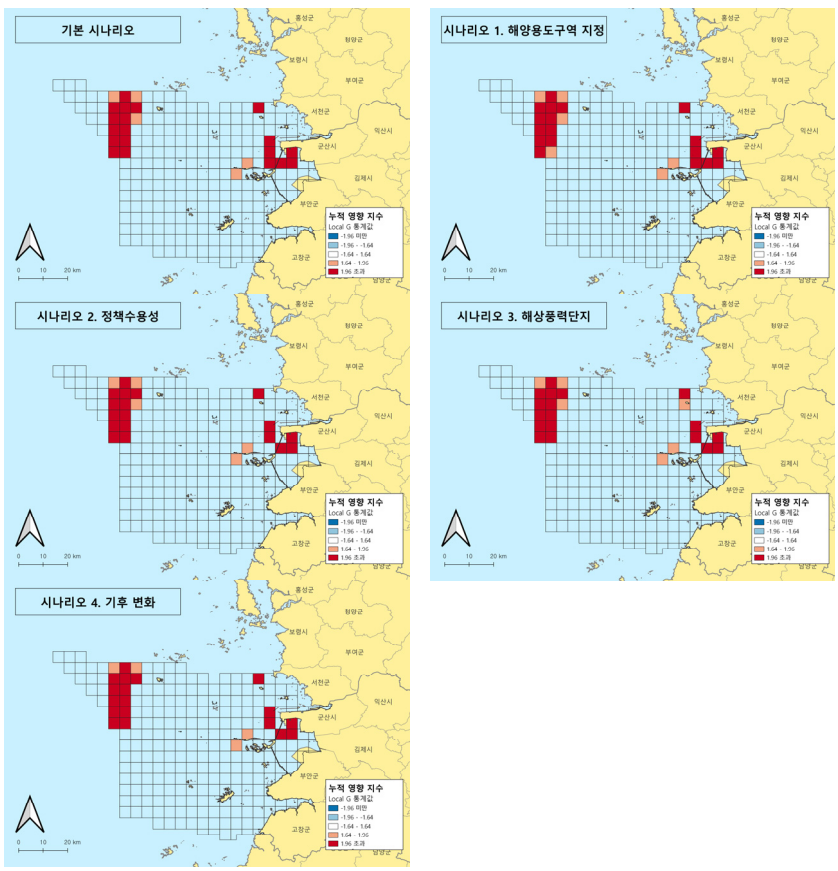
자료: 저자 작성

나. 누적영향지수의 국지적 자기상관분석

국지적 통계량(Logcal G)은 현상의 위치를 공간 단위로 집계해 해당 현상의 발생빈도가 높은 공간의 국지적 군집성을 평가하는 방법이다. 해당 지역과 주변 지역의 지표가 모두 높은 곳은 Hotspot으로, 주변 지역의 지표가 모두 낮은 곳은 Coldspot으로 분류된다. 격자별 누적영향지수로 국

지적 통계량을 산출한 결과를 시나리오별로 구분하여 단계구분도로 시각화했다. 범례는 95% 신뢰수준을 나타내는 1.96, 90% 신뢰수준을 나타내는 1.64, 0, -1.64, -1.96으로 구분하였으며, 1.64 이상 값은 Hotspot으로, -1.64 미만의 값은 Coldspot으로 분류했다.

〈그림 5-36〉 누적영향지수의 국지적 통계량 분포



자료: 저자 작성

〈그림 5-36〉은 누적영향지수의 국지적 통계량 분포를 나타낸다. 모든 시나리오에서 매우 유사한 양상을 보였으며, 매우 근소한 차이가 나타났다. 누적영향지수의 Local G 분석 결과는 모든 시나리오에서 신뢰수준 90% 이상의 Coldspot은 나타나지 않았고, 90% 이상과 95% 이상의 Hotspot은 군산시 연안과 야미도 부근을 포함한 새만금 방조제 부근과 연도 부근, 육지와 많이 떨어진 어청도 서쪽 해상 일대에서 나타났다. 이는 해당 지역을 중심으로 생태계에 영향을 주는 해양 이용이 집중되는 것으로, 누적영향지수가 군집되었음을 의미한다. 특히 1.96 이상의 지역이 더 많이 존재하여 생태계 영향이 많은 지역의 군집성이 강한 것으로 판단된다.

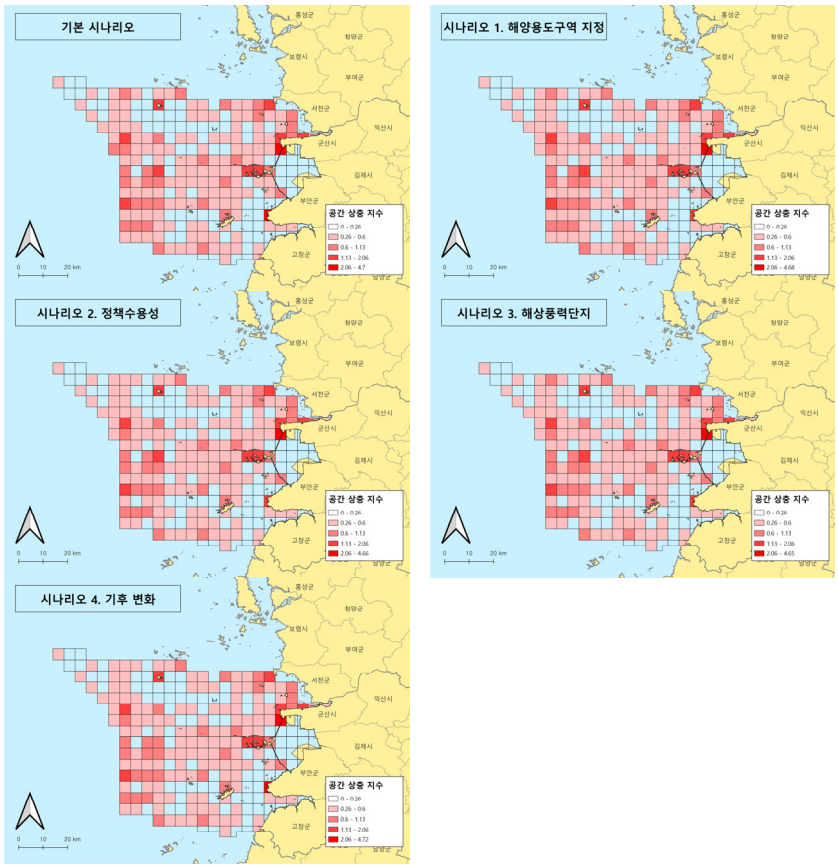
5) 공간상충분석

가. 공간상충지수의 분포

앞서 생태계에 대한 인간 활동의 영향 정도를 정량적으로 나타내는 누적영향지수를 통해 시나리오에 따른 효과를 분석하였다. 이어서 동일 공간을 점유하는 행위 간 상충 강도를 계산하는 공간상충지수를 이용해서 정책 수단과 환경에 대한 시나리오별 해양 이용 및 현황의 변화를 살펴보자. 공간상충지수의 산출 방법에 대해서는 본 보고서의 제4장 제4절에 제시하였다.

〈그림 5-37〉은 사례지역의 상충 정도를 확인하기 위해 공간상충지수를 단계구분도로 시각화한 것이다. 이를 통해 모든 시나리오에서 공간상충지수의 양상이 유사함을 알 수 있다. 자세히 살펴보자면, 어청도 주변 해상과 새만금 인근지역을 제외하고 거의 모든 해상에서 공간 상충이 나타났다. 또한, 어청도 해역과 군산시 연안, 고군산반도, 부안군 변산면 해역 등 일부 지역에 2.0~5.0 사이의 높은 상충지수가 나타나 시나리오에 따른 상충 가능성이 큰 지역으로 정책적 예방책이 요구되는 공간임을 확인할 수 있다.

〈그림 5-37〉 공간상충지수 단계구분도



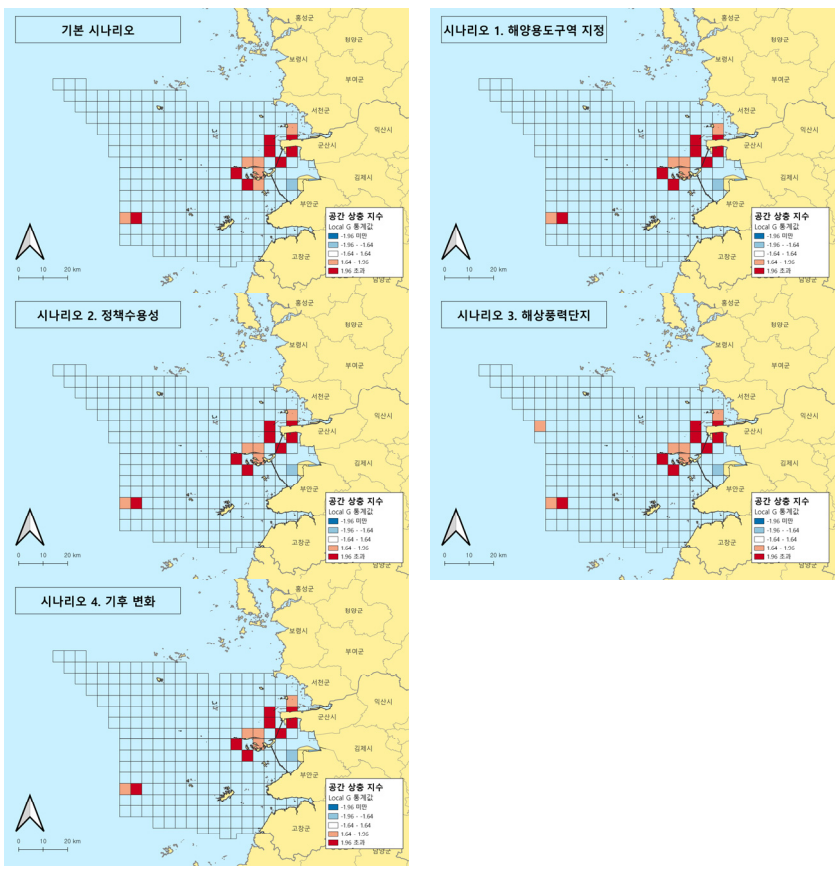
자료: 저자 작성

나. 공간상충지수의 국지적 자기상관분석

다음은 공간상충지수의 지역별 군집 정도를 확인하기 위해 Local G 통계량을 산출하고, 시나리오별 Local G 값의 단계구분도를 작성하였다. 다음은 사례지역의 Local G 통계량의 시각화 결과로, 모든 시나리오에서 유사한 패턴을 나타내며, 특히 상왕등도 서쪽 해상과 새만금 외측 연안에서

상충지수의 HotSpot으로 높은 군집성을 나타낸다. 또한, 부안군의 계화도 연안에서 낮은 상충지수가 군집된 Coldspot이 나타났다. 이러한 결과는 남서쪽 해상과 새만금 외측 연안의 HotSpot 지역에 상충 가능성이 큰 이용들이 밀집되어 나타남을 의미하며, 부안군 연안은 상충 가능성이 비교적 낮은 이용들이 밀집된 것으로 볼 수 있다. 사례 해역의 HotSpot이 나타나는 지점은 특별한 관리가 필요한 지역으로 판단된다.

〈그림 5-38〉 공간상충지수의 국지적 통계량 분포



자료: 저자 작성

제4절 시뮬레이션 결과의 시사점

1. 해양공간계획 시뮬레이션 결과의 활용

가. 해양용도구역 지정에 따른 주변 해역의 변화 모의

해양공간계획의 주요한 정책 수단인 용도구역은 관련 법에 행위를 제한할 수 있는 규제사항은 없다. 하지만 어업, 항행, 해양관광 등 핵심 활동이 발생하는 공간을 위주로 용도구역을 설정하여 적합성협의 제도를 통해서 향후 이용 및 개발사업, 환경·생태계에 직·간접적으로 영향을 미칠 것으로 예상한다. 해양공간의 지속가능한 이용 및 보존을 위해서 용도구역 지정에 따른 주변 해역의 변화 과정을 모의하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 해양용도구역 지정에 대한 시나리오를 구성하여 전북 해역을 대상으로 사례분석을 수행하였다. 구체적으로는 용도구역별로 핵심 활동 이외에 타 행위를 제한하도록 설정하였는데, 가령 어선의 조업 행위는 어업활동보호구역 및 유보구역[141]에서만 가능하도록 시뮬레이션의 활동 규칙을 설정한 것이다. 이러한 설정은 기존 조업 공간, 해양관광 목적지, 항로 등 활동 공간을 변화시키며, 그에 따라 행위의 결과로 산출되는 수익 및 비용으로 인한 효율성의 변화를 초래한다. 아울러 해양공간의 재편은 해양 환경·생태계에도 직·간접적인 영향을 미치게 된다.

용도구역 지정에 관한 시나리오 분석 결과를 살펴보면, 전북 해역에서 큰 비중을 차지하는 어업활동보호구역의 경우 시나리오에 따른 해양 이용 공간에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 사례분석 결과에 따르면 조업 행위에 따른 수익-비용으로 월별 효율성의 가장 큰 변동성을 보이며, 낚시

141) 자료 여건이나 핵심 활동이 없는 공간은 용도구역을 지정하지 않고 유보구역으로 설정함

관광 역시 효율성에 영향을 주는 것으로 추정된다. 다만 어업과 해양관광에 대한 용도구역 지정의 구체적인 효과와 그 연관성을 파악하기 위해서는 향후 용도구역 시나리오 분석 결과에 대한 면밀한 분석이 요구된다.

나. 지역주민의 정책수용에 따른 정책 효과 진단

본 연구에서 정부 정책에 대한 순응 정도로 정의되는 정책 수용성은 해양용도구역 지정에 따른 지역주민의 적극적인 행태로 설정하여 핵심 활동에 해당하는 용도구역 공간에서 활동하도록 시나리오를 구성하였다. 어선 조업과 낚시 관광은 각각 어업활동보호구역과 해양관광구역 내부 공간에서 행위를 하도록 규칙을 설정하였다. 따라서 활동 유형별로 해당 용도구역과 용도구역이 유보구역에서 활동하는 용도구역 시나리오보다 행위를 위한 공간 선택을 더 엄격하게 제약한다.

정책 수용성 시나리오를 적용한 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 어업의 수익과 비용 모두 용도구역 시나리오에 비해 감소세가 뚜렷하여 조업의 효율성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 낚시 관광의 경우에도 만족도 측면에서는 큰 차이가 없으나, 비용의 감소 경향이 분명하여 용도구역 정책에 대한 적극적인 수용으로 인한 활동 공간의 제약이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 향후 지역 주민의 용도구역 정책에 대한 수용 정도와 해양 이용의 구체적인 연관성을 파악하기 위해서 시뮬레이션 결과에 대한 더 정교한 분석이 수행되어야 한다.

다. 해상풍력단지 등 미래 이용에 의한 영향 분석

사례지역인 전북 해역은 이미 2022년 상반기에 서남권 해상풍력 발전사업 집적화단지로 지정되어 해상풍력단지 입지 예정지가 에너지개발구역으로 반영되었다. 전북 해역의 상당한 면적이 해상풍력단지로 지정됨에 따라 어업, 관광 등 기존 이용행위와 환경·생태계에 크고 작은 영향을 미칠 것으

로 예상하며, 단지 입지에 대한 지역주민의 견해도 다양하다. 이에 사례지역의 해상풍력단지 입지를 가정한 시나리오를 구성하여 입지 예정지에 대한 조업, 낚시 관광 등 여타 이용행위를 제한하여 이들 행위에 미치는 영향을 시뮬레이션 분석하였다.

해상풍력단지 시나리오에 따른 분석 결과를 살펴보면, 다른 시나리오에 비해 이용행위의 모든 측면에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 구체적으로는 조업으로 인한 수익과 비용, 그리고 효율성 측면에서 부정적인 효과를 보이며, 낚시 관광은 만족도의 상승과 유류비의 감소 경향으로 복합적인 효과를 나타냈다. 대체로 해상풍력단지로 인한 조업과 낚시 관광을 위한 공간 선택에 분명한 영향을 미치는 것으로 추정되며, 따라서 향후 해상풍력단지 입지와 같은 문제는 주변 지역에 대한 영향에 대한 고심과 이해당사자와의 협의가 중요할 것이다. 그러한 과정에서 단지 입지로 인한 영향을 가시적으로 분석할 수 있는 시뮬레이션 기술은 중요한 의사결정 지원 도구로서 역할을 할 것으로 기대한다.

라. 기후변화 등 미래 환경변화에 따른 영향 예측

기후변화로 인한 시나리오는 공간 격자에 서식하는 어류생태, 즉 게의 자원량을 결정하는 개체군 성장함수의 성장률(lambda)에 영향을 미치는 방식으로 구성하였다. 기후변화에 따른 게 등 갑각류의 성장률에 관한 선행연구[142]가 부족하여 본 연구의 사례분석에서는 임의값(0.3)을 적용하여 기후변화로 인한 어족자원의 변화와 그로 인한 어업, 해양관광 등 이용행위에 대한 영향을 추정하였다.

기후변화로 인한 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 활동 공간을 제약하는 다른 시나리오 결과와 비교해 어업, 해양관광 등에 대한 영향이 크지 않다.

142) 강윤호 외(2012), pp. 239-251; 이버들·김봉태·조용성(2011), pp. 57-70.

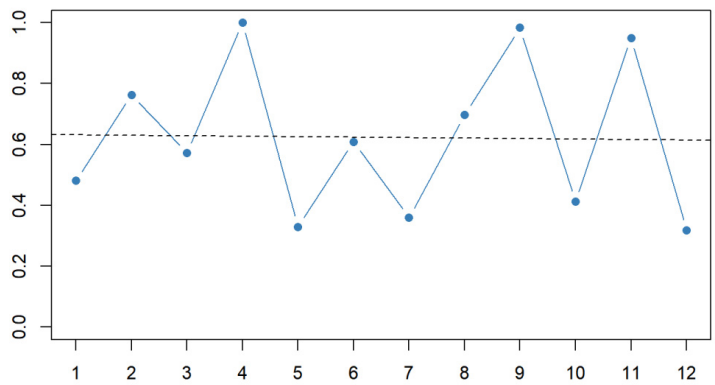
어선의 조업 위치와 유어선의 낚시터 선택 시 어족자원이 중요한 변수로 고려됨에도 불구하고 기후변화로 인한 단기간 어족자원의 변동성이 작고, 그로 인해 조업과 낚시 관광을 위한 공간 선택에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다. 그러나 낚시 관광의 경우, 기후변화로 인한 수익 감소와 비용 증가로 조업의 효율성에 부정적임에도 만족도 증가와 유류비 감소와 같은 긍정적인 영향을 미치는 것으로 전망된다. 향후 기후변화 등 자연환경의 변화로 인한 해양 이용의 효과를 파악하기 위해서 용도구역, 해상풍력 단지 등 인문환경에 대한 시나리오와 달리 장기간 시뮬레이션 분석이 요구된다.

2. 행위자기반모형을 적용한 해양공간계획 시뮬레이션 개발

가. 정책 효과의 시계열 분석

ABM을 이용한 시뮬레이션은 수학식이나 통계모형에 의존하는 기존 시뮬레이션 방식과 다르게 목표 시점뿐만 아니라 목표 시점에 도달하기까지 모든 변화 과정을 시계열적으로 재현한다. 다시 말해 시뮬레이션 기준 시점에서 목표 시점까지의 모든 과정을 시뮬레이션으로 재현하여 초기 상태에서 최종 상태까지의 변화 과정을 확인할 수 있다. 일반적으로 정책 효과는 그 결과만으로는 이해당사자를 설득하기 어렵고, 정책이 실행되는 순간부터 정착되는 과정에서 발생하는 모든 이해득실을 따져야만 정책에 대한 신뢰를 확보할 수 있다. 이러한 측면에서 정책 효과의 시계열 변화를 분석할 수 있는 ABM은 이해당사자의 정책 수용성을 확보하기에 유리한 면이 있다. 물론 ABM 이외에도 SD(시스템 다이내믹스)와 같은 시뮬레이션 기법으로도 정책 효과의 시계열 분석이 가능하다. 다만, SD는 정책 효과의 가시적 분석 측면에서 한계점을 내포하고 있다.

〈그림 5-39〉 정책 효과의 시계열 분석 사례: 월별 어선 조업량

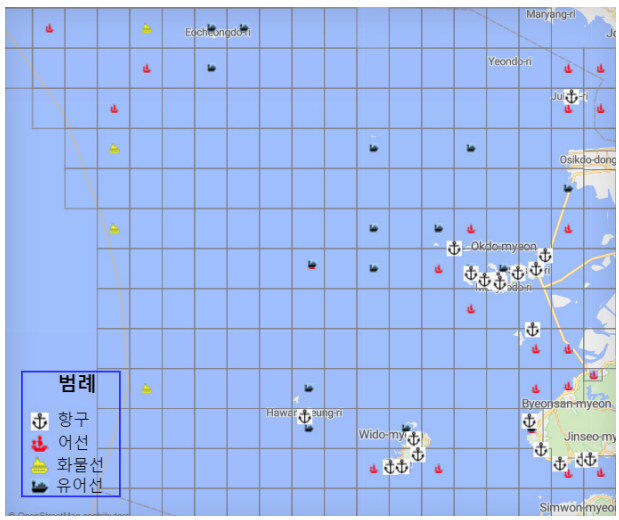


자료: 저자 작성

나. 정책 효과의 가시적 분석

정책 효과의 시계열 분석과 더불어 행위자기반 시뮬레이션은 격자 기반의 공간환경이 설정된 지도에 행위자를 아이콘이라는 가시적인 형태로 재현한다. 설정된 시나리오에 따라 정책 및 외부 환경의 변화로 인한 해양이용의 적응과정을 행위자의 공간(격자) 선택 행위를 모델링하여 정책 효과를 표출한다. 시뮬레이션 결과의 타당성 평가를 위한 기술 설명회에서 나온 의견과 같이, 행위자기반모형ABM은 분석 결과를 가시적으로 확인할 수 있어 정책 실무자와 이해 당사자가 시뮬레이션 결과를 쉽게 이해할 수 있어 유용한 정책지원 수단이다. 시뮬레이션 기법 중 ABM과 유사한 시스템 다이내믹스는 시뮬레이션의 시계열 분석이 가능하지만, 반면에 지도와 같은 행위 공간에 가시적으로 시뮬레이션 결과를 재현할 수 없는 한계점이 있다.

〈그림 5-40〉 정책 효과의 가시적 분석 사례: 격자별 행위 모델링

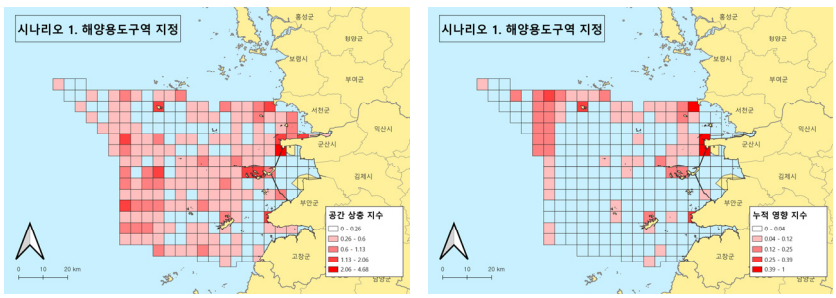


자료: 저자 작성

다. 정책 효과의 세분화

ABM을 이용한 시뮬레이션 결과는 대상 시스템의 구성 요소별 구체적인 사항들을 제공하여 시나리오 설정에 따른 영향을 상세히 재현할 수 있다. 따라서 해양공간계획의 정책 수단(용도구역) 및 환경(정책수용, 해상풍력단지, 기후변화) 변화에 따른 대표적인 해양공간의 이용(어업, 해양관광, 항행) 및 해양 환경·생태(어류생태)에 대한 영향 및 효과를 보다 구체적으로 살펴볼 필요성이 있다. 또한, 개별 이용행위에 대한 정책의 영향과 더불어 이용자 간 혹은 이용자와 환경 사이의 상호작용을 검토해야 한다. 이를 통해 ABM을 적용한 시뮬레이션은 시나리오에 따른 각 행위자와 공간환경의 구체적인 적응과정을 재현할 수 있으며, 시뮬레이션 결과를 이용한 공간상충분석과 누적영향평가를 통해서 행위자와 환경의 상호작용 효과를 상세하게 진단할 수 있다.

〈그림 5-41〉 정책 효과의 세분화 사례: (좌측)공간상충지수, (우측)누적영향지수



자료: 저자 작성

라. 행위자로서 이해당사자의 참여 가능성

행위자기반 시뮬레이션의 핵심 요소는 행위 주체로서 행위자를 선정·규정하는 것이다. 사례분석에서 보듯이, 어업 행위의 주체인 어민(어선), 낚시 행위의 관광객(어선) 등은 해양공간계획의 정책 당사자로서 행위자기반 시뮬레이션의 구성요소이자 시뮬레이션 결과로 직접 반영된다. 복잡한 수식 혹은 정량적 수치로 적용되는 기존 방식과 달리, ABM을 적용한 시뮬레이션은 행위자의 행태를 직접 모델링하고, 시뮬레이션 결과에서 행위자별 정책 효과를 직접 확인할 수 있다. 따라서 행위자기반 시뮬레이션은 정책 당사자가 개발 및 분석 과정에 참여하고, 평가할 기회를 제공한다.

〈표 5-23〉 행위자기반 시뮬레이션과 기타 시뮬레이션 비교

구분	행위자기반 시뮬레이션	기타 시뮬레이션
시계열 분석	• 분석 단위에 따라 분석 가능	• 가용 데이터에 따라 분석 가능
가시적 분석	• 행위별 공간적 효과 가시화	• 일부 공간모형 구현 가능
분석 세밀화 수준	• 모델 구성요소에 따라 세분화	• 모델 변수에 따라 세분화
참여 가능성	• 행위자로서 참여 가능	• 모델 변수로 대체

자료: 저자 작성

06
결론 및 제언

제1절 연구의 요약 및 학술적 기여

기존 어업과 항로 위주의 해양공간 이용의 양상이 최근 신재생에너지개발, 해양관광 등 다양한 이용행위로 확대되고, 복잡해짐에 따라 해양 환경 및 생태계에 대한 영향뿐만 아니라 신구 이용 간의 갈등 및 대립이 심화하고 있다. 이에 우리나라는 2019년 해양공간계획법을 제정하고, 이 법에 따라 2020년부터 해양공간기본계획(2019-2030)과 연안 광역시도 별 해양공간관리계획을 수립하였다.

해양공간관리계획의 수립 과정에서는 해양의 이용 및 상태에 대한 기초데이터를 분석하여 해양용도구역(안)을 수립하고, 이에 대한 관계 기관과 이해관계자의 다양한 의견을 청취하여 용도구역에 반영하였다. 해양공간관리계획의 용도구역은 현재 이용 현황 및 미래 이용 가능성을 고려하여 핵심 활동에 따라 기존 해양공간을 나누는 제도로, 해양용도구역 지정에 있어서 각 핵심 활동에 해당하는 이해관계자의 배타적 반응을 초래할 수 있다. 또한 지역주민, 어민 등 이해관계자 대상의 의견수렴 과정에서 용도구역 설정에 따른 향후 효과 및 영향에 대한 명확한 근거 자료가 없어 해양용

도구역(안)에 대한 이해당사자 간 합의를 하기가 쉽지 않다. 또한, 현재 정책결정자 처지에서 용도구역 등 해양공간계획 제도의 미래 효과를 예측하고, 대안을 평가할 수 있는 기술 및 자료가 부재한 실정이다.

본 연구는 앞서 해양공간계획 수립 및 이행과정에서 발생하는 여러 현안을 해소하고자 정책 대안의 미래 효과와 영향을 평가할 수 있는 예측 기술, 즉 해양공간계획 시뮬레이션을 개발하고자 한다. 모형 개발을 위해서 관심현상이 발생하는 시스템의 구성요소의 행위와 구성요소 간 상호작용을 모델링하여 현상을 규명하는 ABM(행위자기반모형)을 적용하였다. 구체적으로는 해양용도구역의 핵심 활동에 해당하는 각 이해당사자를 행위자로 규정하고, ABM을 이용해 어선의 어업활동, 유어선의 낚시 활동, 상선의 항행 활동 등 각 행위자의 활동을 모델링하였다. 이 모형을 이용해 용도구역, 정책 수용성, 해상풍력단지, 기후변화에 대한 시나리오 분석을 통해 핵심 활동별 해양공간 이용행위의 변화 과정을 모의하여 다양한 여건에서 해양공간계획 제도의 효과와 영향을 비교, 분석하였다.

ABM을 이용한 해양공간계획 시뮬레이션은 각 시나리오 상황에 따른 단편적인 결과뿐만 아니라 각 해양공간 이용 주체별 영향을 세분화하며, 누적영향 및 공간상충 등 이용행위 간 상호작용에 따른 효과를 분석할 수 있다. 또한 정책대안을 평가하기 위한 특정 시점의 해석과 더불어 기준 시점에서 목표 시점까지 시계열적 변화 과정을 모의하므로 정책목표에 도달하는 과정에서 발생할 수 있는 현안을 사전에 발견하고 예방할 수 있도록 지원한다.

시뮬레이션의 예측 결과는, 해양공간계획의 수립 및 이행에서 정책 의사결정을 위한 참고자료로 활용할 수 있다. 또한, 용도구역 지정에 따른 효과에 대한 상세한 정보를 제공함으로써 이해관계자에게 정책에 대한 이해도와 수용성을 향상할 수 있을 것으로 기대한다. 최근 신재생에너지를 위한

해상풍력단지 등 해양공간 중 이용 및 개발 잠재성이 뚜렷한 공간에 대한 유도구역 지정에 있어서 인접 공간의 기존 행위에 대한 영향을 평가하는 것이 필수적이다. 본 연구의 해상풍력단지 관련 시나리오 분석을 통해 볼 수 있듯, 해양공간의 잠재적 이용 및 개발을 위한 유도구역 지정에 따른 타 행위에 대한 효과를 예측하는 데 시뮬레이션을 활용할 수 있다.

해양공간계획의 용도구역 제도를 포함한 정책적 의사결정 지원을 목적으로 행위자기반 시뮬레이션 개발을 위한 본 연구는, 문헌조사, 전문가 자문, 설문조사, 모형 개발 및 시나리오 분석 등 다양한 방법으로 연구를 수행하였다. 먼저, 시뮬레이션 기술의 정책적 활용에 대한 국내·외 문헌조사를 통해서 다양한 정책 분야에서 시뮬레이션 기술의 개발 방식과 활용 행태를 살펴보고 시뮬레이션 개발과 활용에 대한 시사점을 도출하였다. 국내 정책 현장에서 개발·활용되고 있는 시뮬레이션 사례를 통해 기술 개발 여건과 요구사항, 기술 활용을 위한 제도적 기반에 대한 방안을 검토하였다. 또한, 해외 해양공간계획의 정책지원 도구 현황을 살펴보고, 정책 지표 등 시뮬레이션 결과의 활용을 위한 구체적인 방안을 도출하였다.

해양공간계획 분야의 전문가 자문을 통해 해양공간계획 업무에 있어서 정책 시뮬레이션 기술의 요구사항 및 활용 방안에 대한 의견을 수렴하였다. 또한, ABM을 활용한 시뮬레이션 개발을 위해서 시뮬레이션 분야의 전문가를 초청하여 ABM의 개발 및 검증 방법 등에 대해 자문하였다. 전문가 자문 의견을 토대로 시뮬레이션의 설계 및 개발, 그리고 모형의 활용에 대한 세부 계획을 수립하였다.

용도구역 및 유도구역 지정, 적합성 협의 등 실제 해양공간관리계획의 수립 및 이행을 위한 정책 결정 및 업무에 있어서 시뮬레이션의 필요성과 역할 및 기능에 대한 요구사항을 파악하기 위해서 해양수산부 및 지자체의 해양공간계획 실무자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사 결과, 해양

공간계획 제도의 장기 비전으로 해양공간 선정 시 이해관계자 간 조율을 제시하였고, 시뮬레이션 기술에 대한 전반적인 낮은 인지도에도 불구하고 기술의 필요성에 대해서 높은 지지를 표현하였다. 또한, 해양공간계획 제도에 있어서 이해관계자 갈등 해소와 제도에 대한 인식 증진을 중요한 역할로 인식하였고, 어업, 지역경제, 환경 영향 순으로 기술의 활용 분야를 제안하였다. 마지막으로, 관련 기술의 제약요인과 개선사항으로 결과의 신뢰도 확보와 활용 난이도를 고려한 교육 등을 언급하였다.

앞서 문헌조사, 전문가 자문, 기술 수요조사 등의 연구 결과를 참고하여 시뮬레이션을 설계하고, 정책 효과를 분석하기 위한 시나리오를 구성하였다. 아울러 시뮬레이션의 타당성과 활용 가능성을 평가하기 위해서 ABM의 개발을 지원하는 AnyLogic을 이용해 프로토타입 모형을 개발하고, 다양한 시나리오를 토대로 전북 해역 대상의 사례분석을 수행하였다. 모형의 검증 과정과 사례분석 결과를 토대로 모형의 신뢰도와 활용 가능성을 평가하고, 한계점 및 문제점을 파악하여 기술의 고도화를 위한 개선사항을 도출하였다. 아울러 어업(수협중앙회), 관광(지역관광협회), 항만(지방해양수산청), 생태(환경단체), 기타(지자체 출연연) 분야별 이해관계자를 초청하여 정책 시뮬레이션 기술에 대한 설명과 분석 결과를 공유하고, 기술의 문제점 및 개선사항에 대한 의견을 수렴하였다.

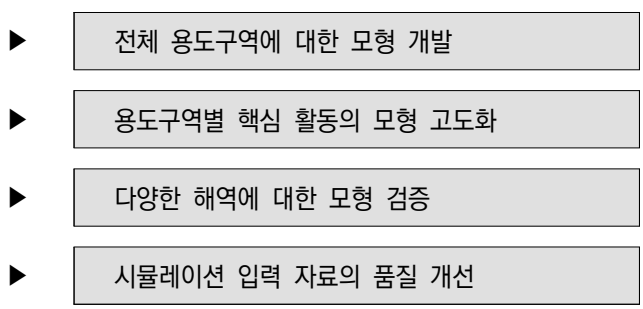
앞서 사례분석 결과와 기술 설명회 의견을 토대로 본 연구에서 개발한 해양공간계획 시뮬레이션의 한계점 및 개선사항을 도출하였다. 첫째, 모형의 대상 정책인 용도구역 중 일부(어업, 관광, 항행, 생태)만 적용되어 포함되지 않은 용도구역을 포함해 전체 용도구역에 대한 모델링이 필요하다. 현재 광역 지자체별 해양공간계획의 대상 해역(일부 지자체를 제외하고)에는 9개 용도구역이 지정되어 있으며, 용도구역 지정에 따른 실질적인 정책 효과를 파악하기 위해서는 모든 용도구역에 대한 검토가 필요하다.

둘째, 시뮬레이션 결과의 신뢰도를 위해서 용도구역별 핵심 활동 및 환경에 대한 정교한 모델링 과정이 필요하다. 어업의 경우, 현재 가용한 자료(어선 경로, 어획량 데이터)를 기초로 어장 선택 및 어획량 산출에 대한 모델링을 단순화시켜 실제 현상을 제대로 반영하지 못한다는 한계점이 있다. 따라서 향후 시뮬레이션 결과의 타당성을 향상하기 위해서 관련 문헌조사 및 전문가 자문 등을 통하여 각 행위에 대한 이론 및 모형을 고도화시킬 필요성이 있다.

셋째, 해양공간의 특수성과 정책 여건 등을 고려하여 다양한 해역(지자체)에 대한 시뮬레이션 모형의 검증 및 활용성 평가가 요구된다. 본 연구는 해양공간계획 현안 및 자료의 접근성 등을 고려하여 전북 해역을 대상으로 사례 연구를 수행하였으나, 서해, 남해, 동해의 해역별 인문·자연적 특수성과, 지자체별 해양공간계획 관련 현안 및 문제점을 반영하기 위해서 다양한 사례지역에 대한 시뮬레이션 모형의 검증 및 분석이 요구된다.

넷째, 다른 시뮬레이션과 마찬가지로, ABM은 시뮬레이션 입력 자료에 대한 의존도가 높기 때문에 입력 자료의 품질에 따라 모형의 결과도 달라질 수 있다. 특히, 입력 자료에 나타나는 패턴에 의존하는 시뮬레이션 모형은 비교적 단기간의 자료를 입력하는 경우 일반적인 경향이 아닌 특수한

〈그림 6-1〉 연구의 한계점 및 개선사항



자료: 저자 작성

상황의 경향이 반영되기 쉽다. 따라서 시뮬레이션 결과의 타당성을 확보하기 어렵고, 결과적으로 시뮬레이션에 대한 사용자의 신뢰도도 낮아질 수 있다. 따라서 데이터의 정확도(현실 반영 정도), 형식(데이터 입력 형식), 기간(최신성), 무결성(누락된 값의 포함 여부) 등 시뮬레이션에 적용할 자료의 품질을 확보하여 모형 결과의 타당성과 신뢰도를 확보하여야 한다.

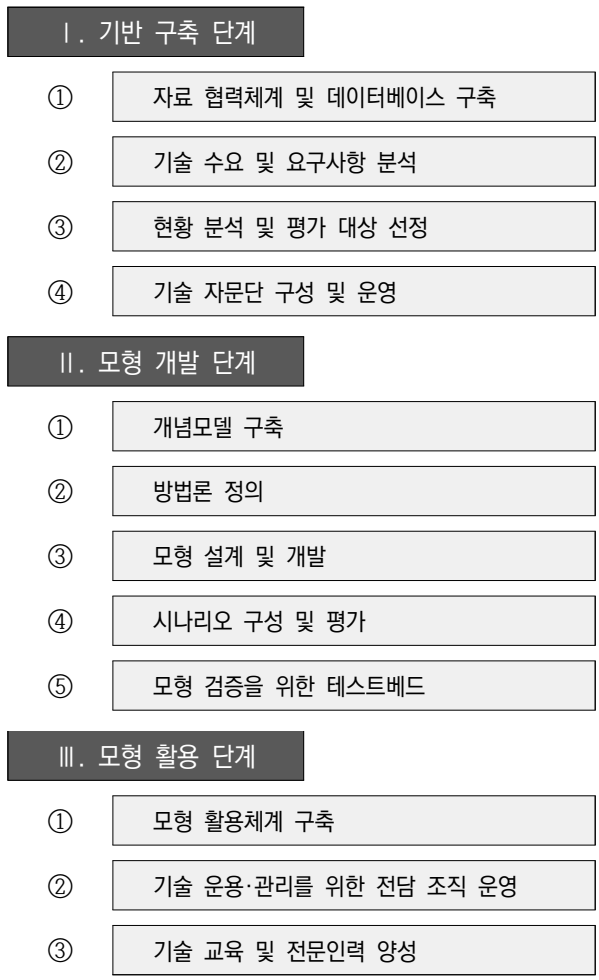
제2절 향후 연구 방향

1. 해양공간계획 시뮬레이션 개발 로드맵(안)

본 연구는 해양공간계획 분야에서 행위자기반 시뮬레이션의 적용과 활용 가능성을 분석하기 위해서 프로토타입 모형을 설계하고, 사례지역을 대상으로 용도구역, 정책 수용성, 해상풍력, 기후변화에 대한 시나리오 분석을 수행하였다. 이러한 시뮬레이션 설계와 개발 경험을 토대로 해양공간계획 실무에 직접 적용할 수 있는 행위자기반 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵을 제시하고자 한다.

해양공간계획 시뮬레이션에 관한 문헌조사, 전문가 세미나 및 자문, 설문조사 등을 통해서 수렴한 의견을 토대로 향후 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵을 수립하였다. 전체 로드맵은 본 연구의 결과를 토대로 기반 구축 단계, 모델개발 단계, 모델 활용 단계로 구성되어 있으며, 단계별로 구체적인 수행 방안을 포괄하고 있다. 각 로드맵 단계의 상세한 내용은 다음과 같다.

〈그림 6-2〉 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵(안)



자료: 저자 작성

1) 기반 구축 단계

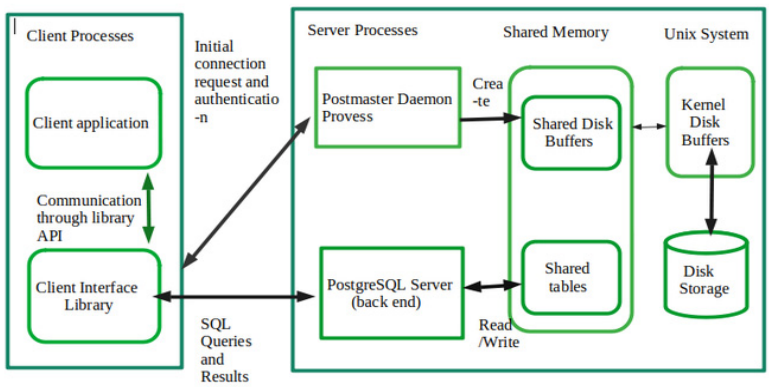
가. 자료 협력체계 및 데이터베이스 구축

시뮬레이션의 활용 및 시뮬레이션 분석 결과의 신뢰도를 위해서는 모형 구축 및 시뮬레이션 분석을 위한 데이터 확보가 관건이다. 해양공간계획의 수립 및 이행과정을 지원하기 위한 시뮬레이션은 용도구역별 핵심 활동에 대한 이용 현황 및 기타 사회·경제, 환경 분야의 다양한 데이터를 활용한다. 해양수산 관계 기관의 데이터뿐만 아니라 타 부처의 데이터를 협조·수집할 수 있는 자료 협력체계가 먼저 구축되어야 한다. 공공 부문의 데이터 협조체계는 정부 부처 간 혹은 기관 간 데이터 상생을 원활하게 할 수 있는 데이터 전문기관 설립 등 협력 거버넌스를 통해 구축할 수 있다. 더불어 데이터 시장의 접근성을 높이고 데이터 공유를 활성화하기 위한 EU의 데이터법(European Data Act)[143] 사례처럼 사용자 간 데이터 공유·활용을 위한 법적 근거를 마련하는 것이 중요하다. 이외에도 데이터 표준화 및 생태계 조성 등을 위한 노력이 필요하다.

이러한 자료 협력체계를 토대로 수집된 데이터는 정제 과정(data filtering)을 거쳐 자료의 품질 및 신뢰도를 개선하고, 모형의 구축 및 시뮬레이션 분석을 위한 입력 자료와 시뮬레이션 결과의 관리를 위한 데이터베이스를 구축한다. 데이터베이스(database)는 자료 항목의 중복을 없애고, 자료를 구조화하여 효율적인 처리를 지원하는 기술로, 해양공간계획 시뮬레이션과 같이 다양한 유형의 데이터를 장기간 이용하는 경우 필요한 자료 관리 수단이다. 데이터베이스 구축을 위해서 오픈소스 기반의 공간 데이터를 저장·관리할 수 있는 PostgreSQL을 활용할 수 있다.

143) 유럽 내 데이터 공유를 확산하기 위해 2022년 2월에 발표된 법률

〈그림 6-3〉 PostgreSQL 시스템 아키텍처



자료: GeeksforGeeks(검색일: 2022.9.5.)

나. 기술 수요 및 요구사항 분석

해양공간계획 시뮬레이션의 개발에 앞서 새로운 기술에 대한 수요와 구체적인 요구사항에 대한 분석이 선행되어야 한다. 전문가 및 실무자 대상의 수요조사를 통해서 기술의 필요성 및 역할, 활용 분야 등을 파악하여 기술의 목표와 목적, 적용 범위를 설정하는 데 활용할 수 있다. 또한, 기능적 및 성능 요구사항을 도출하여 각각 시뮬레이션의 세부 기능 및 결과의 신뢰수준 등을 설계할 수 있다. 실제 업무환경에서 시뮬레이션의 제약사항과 개선사항에 대한 의견을 수렴하여 모형 개발 및 활용 방안을 수립하는 데 참고할 수 있다.

다. 현황 분석 및 평가 대상 선정

시뮬레이션이 적용될 대상 정책과 관련된 현황을 분석하고, 구체적인 평가 대상을 선정하는 과정이 필요하다. 먼저 모형의 적용 대상인 해양공간계획의 수립 및 이행과정의 현안 및 문제점을 파악하기 위해서 관련 분야의 전문가 혹은 해양공간계획 업무를 수행하는 주무 부처(해양수산부), 광

역시도 및 기초지자체의 담당자를 대상으로 자문 및 인터뷰를 통해서 구체적인 현안을 파악해야 한다. 앞서 파악한 관리계획 수립 시 용도구역 지정에 대한 이해당사자의 합의 과정에서 발생하는 갈등이나, 미래 이용행위를 위한 유도구역 설정에 필요한 참조 자료 등 관련 문제점을 검토할 수 있다. 아울러 시뮬레이션 개발 이후에 모형의 타당성 및 활용 가능성을 평가하기 위한 대상을 선정하는 과정이 필요하다. 테스트베드 지역의 선정 및 평가 시나리오의 구성에서 필요한 정보를 이 과정에서 수집한다.

라. 기술 자문단 구성 및 운영

시뮬레이션 기술의 설계와 개발을 위한 현실적인 방안을 도출하기 위한 전문가 그룹, 구체적인 기술의 요구사항 및 제약사항 등을 파악하기 위한 사용자 그룹의 기술 자문단을 구성하고 운영한다. 기술 자문단은 모형의 준비, 개발, 활용의 전 단계에서 지속해서 운영하며, 모형 개발 이후에도 지속적인 기술 보완 및 고도화를 위해서 상시 운영할 필요가 있다. 전자의 그룹은 시뮬레이션 기술 분야의 전문가 혹은 기술자로 구성하고, 후자의 그룹은 해양공간계획 관련 실무를 담당하는 해양수산부 및 지자체 공무원, 해양공간계획의 정책 결정 과정에 참여하는 모든 이해당사자를 포함한다.

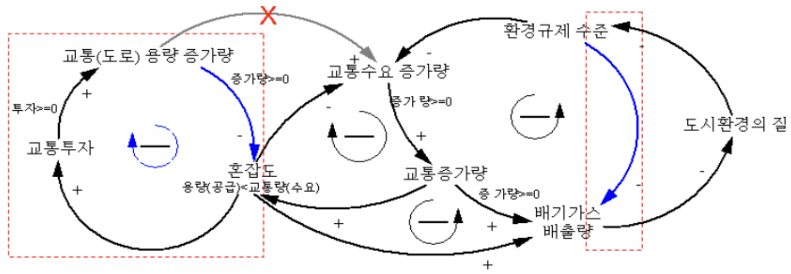
2) 모델 개발 단계

가. 개념모델 구축

시뮬레이션 개발 단계는 모델링 대상 현상(시스템)에 대한 개념모델을 작성하는 것에서 시작한다. 본 연구의 시뮬레이션은 해양공간계획의 용도구역 지정에 따른 효과를 예측하기 위한 목적으로, 용도구역 지정과 핵심 활동에 대한 개념모델을 작성해야 한다. 개념모델을 구축하는 방법은 관련 주제에 대한 브레인스토밍 기법을 통해서 현상의 구성요소와 구성요소 간 관계,

시·공간 및 내용적 범주를 파악한 후에 SD 인과지도와 같은 시스템사고법(system thinking approach)을 이용해서 도면으로 작성할 수 있다.

〈그림 6-4〉 인과지도를 이용한 개념모델 예시



자료: 정재운·김현수·최형림(2008), p, 87.

나. 방법론 정의

앞서 구성된 개념모델을 기초로 모형을 개발하기 위해서 구체적인 방법론을 선정하는 과정이 선행되어야 한다. 우선 개념모델을 기초로 모형의 목적을 실현하도록 모형 개발을 위한 방법론을 선별한다. 그런 후에 각 방법론의 특성, 장점 및 단점, 요구사항, 산출물 등을 비교 검토하여 모형의 목적에 부합하는 방법론을 최종 선정한다. 본 연구는 시뮬레이션 개발을 위한 여러 방법론 중에 분석적 모형과 비교 검토 후에 ABM을 최종 선정하였다.

다. 모형 설계 및 개발

개념모델을 토대로 모형을 실제 구축하기에 앞서 구체적인 모형을 설계하는 과정이다. 일반적으로 ABM은 ODD 프로토콜을 이용해 모형의 목적과 이론 및 구성요소 등 모형의 세부 사항을 정의하여 설계한다. 모형 설계를 기초로 모형을 개발하기 위해서 AnyLogic, NetLogo와 같은 개발도구(소프트웨어)를 사용하거나, C++, Python, Java 등과 같은 컴퓨터 언어를 통해서 직접 모형을 개발한다.

라. 시나리오 구성 및 평가

시뮬레이션의 성능 검증 및 타당성 평가와 시뮬레이션 예측을 위해서 시나리오 분석을 수행한다. 시나리오 분석은 시나리오 준비, 시나리오 환경 분석, 시나리오 작성, 시나리오 결과의 절차를 따른다. 우선 시나리오 대상 그룹과 시공간 범주를 설정하고, 다음 이해당사자와 영향요인 등을 탐색하여 시나리오 환경을 분석한다. 구체적인 동인 분석과 대안 추정, 환경요인 조합을 통해서 시나리오를 작성한 후에 시나리오 평가를 통해서 전략 수립 및 의사결정 과정에 활용할 수 있다.[144]

마. 모형 검증을 위한 테스트베드

시뮬레이션의 타당성 및 신뢰도를 확보하기 위해서 다양한 사례에 대한 검증이 필요하며, 따라서 다양한 환경에 대한 테스트베드를 설정하여 모형을 적용해야 한다. 테스트베드는 기술의 실용화를 위한 선행 과정으로 테스트베드 지역의 선정은 모형의 평가 대상을 검토하는 과정이 요구된다. 그 외에 모형의 구축과 시뮬레이션 분석을 위한 자료 가용성과 지역별 관련 현황 및 현안 등을 검토하여 테스트베드 우선순위를 선정해야 한다. 본 연구의 테스트베드는 우선 연안에 위치하며, 관리계획의 수립 및 이행의 주체인 광역시·도를 대상으로 하였다.

3) 모델 활용 단계

가. 모형 활용체계 구축

모형 개발 및 운영을 위한 기반을 구축하고, 실제 모형을 개발한 이후에 정책 실무에 효과적으로 활용하기 위해서 활용체계를 구축할 필요가 있다.

144) 본 연구의 제4장 제3절 참고

정책 분야의 정책 시뮬레이션 활용에 대한 국내 전문가 세미나에서 나온 의견으로, 일반적으로 시뮬레이션과 같은 기술은 데이터의 가용성 및 모형의 신뢰도 이외에도 기술의 난이도와 정책 실무와의 연계성 등이 실제 정책 활용에 있어서 제약사항으로 작용한다. 따라서 중앙정부 및 지방정부의 담당 공무원이 시뮬레이션 기술을 실제 업무에 활용하기 위해서는 무엇보다 관련 기술을 업무에 이용하도록 하는 법·제도가 뒷받침되어야 한다.

국토연구원의 부동산정책 지원시스템(Rep-DSS)의 사례에서 보듯이, 일부 지자체에서 조례 제정을 통해서 관련 업무에서 해당 시스템을 반드시 이용하도록 규정하여 시스템을 활용성을 보장하고 있다. 따라서 해양공간계획의 주무 부처인 해양수산부의 업무를 지원하기 위해서 관련 법(해양공간계획법 등)의 시행규칙 등에 시뮬레이션 이용에 대한 지침을 포함해야 한다. 또한, 연안 광역시도 지자체의 지방 조례에 관리계획 업무에 대한 지침으로 시뮬레이션을 이용하도록 명시할 필요가 있다.

나. 기술 운용·관리를 위한 전담 조직 운영

시뮬레이션 기술을 통해 해양공간계획의 정책 의사결정을 효과적으로 지원하기 위해서 관련 기술의 지속적인 운영·관리를 위한 전담 조직의 설치 및 운영이 요구된다. 여기서 전담 조직은 관련 법에 근거해 정책 현장에서 시뮬레이션의 운영 및 관리에 필요한 각종 업무를 수행하기 위해서 설립·운영하는 조직을 가리킨다. 전담 조직의 설립 주체는 해양공간계획 제도를 수립·관리하는 주무 부처인 해양수산부(해양공간정책과)가 되며, 「해양공간계획법」 제20조에 따라 해양공간계획 수립을 지원하고 해양 이용·개발 사업의 적합성 업무를 전담하는 해양공간계획·평가 전문기관으로 해양수산부 산하의 공공기관(해양환경공단, 한국해양과학기술원, 한국수산자원공단) 혹은 국무총리 산하 해양수산분야의 국책 연구기관인 한국해양수산개발원 내부에 설립·운영할 수 있다.

전담 조직의 구성원은 기술의 운용을 위한 시뮬레이션 전문가, 기술적 문제를 해결하기 위한 시스템 및 데이터베이스 기술자, 전문인력 양성 및 기술 교육을 위한 전문 강사, 데이터 협조 등 행정 업무를 처리하기 위한 행정원, 기타 사무 업무를 지원하기 위한 사무원 등으로 구성할 수 있다. 이러한 전담 조직의 효율적인 운영을 위해서 시뮬레이션의 운용·관리를 위한 전담 조직의 설치 및 운영 방안, 전담 조직의 운영에 필요한 예산 편성 등에 관한 법률 등을 제정할 필요가 있다.

다. 기술 교육 및 전문인력 양성

해양공간계획 시뮬레이션 기술의 요구사항에 대한 설문조사의 결과에서 볼 수 있듯, 시뮬레이션 기술의 난도가 높아 정책 실무자 대상의 기술 교육이 요구된다. 또한, 국내에서 정책 시뮬레이션 기술의 운용 및 관리, 고도화를 위한 전문인력을 양성하는 일이 시급하다. 교육과정은 정책 현장의 실수요 간 연계성을 강화하기 위해 산·학·연 연계 프로그램을 통해서 운영하며, 정책 시뮬레이션 분야의 인력양성은 관련 대학원의 강의를 통해서 실현할 수 있다.

2. 해양공간계획 시뮬레이션 활용체계

가. 해양공간계획 수립·이행 의사결정과정 지원체계

앞서 제시한 시나리오 분석 결과에서 확인할 수 있듯, 시뮬레이션 기술의 도입을 통해서 해양공간정책의 수립 및 이행을 지원하고 해양공간의 지속 가능한 이용·개발을 촉진할 수 있다. 해양공간정책을 지원하기 위한 시뮬레이션은 미래 해양 활동을 예측하고, 시나리오 기반의 공간변화를 분석하는 기능을 통해서 정책 대안의 효과와 영향을 평가할 수 있는 과학적 수

단으로서 역할을 한다.

해양공간(관리)계획의 수립 과정에서 대표적인 정책 수단인 용도구역의 지정을 위한 행정 절차에 시뮬레이션을 적용할 수 있다. 대표적으로, 시뮬레이션을 적용하여 어업활동보호구역의 지정에 따른 단기적인 어획량 및 어족자원량의 변화를 예측하고, 장기적인 어촌경제의 변화를 파악하여 용도구역의 효과를 진단할 수 있다. 해양관광구역의 경우에 용도구역 지정 이후에 관광산업으로 인한 지역경제의 영향, 타 행위와의 상충 가능성을 검토하여 가능한 안전사고를 예방할 수 있는 공간을 파악할 수 있다. 핵심 활동에 따라 해양공간을 분할하는 용도구역 제도에 대한 이해당사자의 배타적 태도로 인해 제도에 대한 이해와 정책 수용성을 개선하기 위한 노력이 선행되어야 한다. 시뮬레이션을 이용하여 용도구역의 효과·영향에 대한 객관적 정보를 제공함으로써 이해당사자의 이해와 정책 수용성을 증진하는데 역할을 할 것으로 기대한다.

제2장에서 살펴보았듯이, 시뮬레이션이 해양공간계획 수립 과정에 활용되기 위해서 관련 법(해양공간계획법 제3장 제13조, 시행령 제6조)에 따라 해양용도구역의 지정을 위한 해양공간특성평가와 관련된 사항을 보완하여야 한다. 구체적으로는, 해양공간특성평가 결과를 토대로 지정한 용도구역(안)에 대해서 다양한 시나리오를 구성하여 시나리오별 용도구역의 영향을 예측하여 용도구역(안)을 평가할 수 있는 사항을 포함하여야 한다. 또한, 용도구역(안)에 대한 이해당사자의 의견수렴 과정(지역협의회 및 공청회 등)에서 시뮬레이션의 결과를 참조 자료로 활용하도록 한다.

〈그림 6-5〉 해양공간정책 수립 의사결정 지원체계: 해양용도구역 지정



자료: 저자 작성

해양공간(관리)계획의 이행을 위한 정책 수단인 해양공간적합성협의 과정에 시뮬레이션 기술을 활용할 수 있다. 관계 법령(해양공간계획법 제15조, 해양공간적합성협의에 관한 업무처리규정 제2019-74호)에 따르면, 협의 요청에 따라 해양공간의 이용·개발 계획 및 사업에 대한 해양공간계획 정책 방향과의 부합성과 용도구역 및 관리구역과의 부합성, 입지의 적절성, 미래 수요 및 주변 환경 영향 등을 종합 검토하여 동의 혹은 비동의 의견을 제시한다. 이러한 검토 과정은 협의요청기관(중앙행정기관 및 지방자치단체)에서 제출한 보고서와 해양공간계획 및 참고 자료를 토대로 해양공간 적합성을 판단하지만, 사업 이행 및 개발 계획 이후에 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 도구가 부재한 실정이다. 따라서 해양공간 이용 및 개발 행위를 포함한 다양한 시나리오 상황에서 행위자의 적응과정을 모델링하여 영향을 예측하는 시뮬레이션 기술을 이용하여 협의 대상 사업의 효과를 진단하는 데 중요한 참고자료를 제공할 수 있다.

〈그림 6-6〉 해양공간정책 이행 의사결정 지원체계: 적합성협의 업무



자료: 저자 작성

제2장에서 검토하였듯이, 정책 시뮬레이션 기술이 적합성협의 등 해양공간계획 관리업무에 적용하기 위해서는 관련 법령(해양공간적합성협의에 관한 업무처리규정 제2019-74호)에서 시뮬레이션 기술에서 제공하는 영향정보를 참고할 수 있도록 관련 사항을 포함하여야 한다. 또한, 적합성협의 업무 과정에서 시뮬레이션 기술을 운용하기 위해서 해양공간계획에 필요한 자료를 제공하는 해양수산부 공동활용체계(해양수산 빅데이터플랫폼)에서[145] 필요한 자료를 제공하거나, 협의요청기관에서 보고서와 함께 시뮬레이션 입력 자료를 제공하도록 규정하여야 한다.

나. 해양수산부 사업 및 지자체 연계 방안

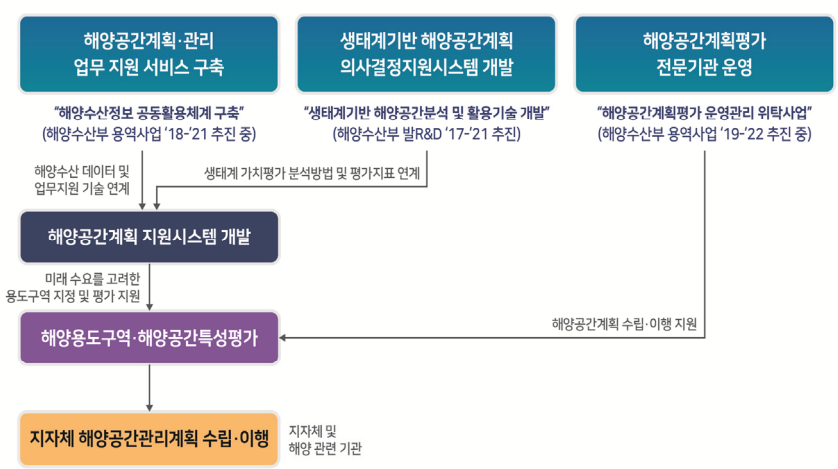
해양공간계획을 지원하기 위한 시뮬레이션은 주무 부처인 해양수산부의 사업 성과와 연계하여 활용할 수 있다. 대표적인 '해양수산정보 공동활용체

145) 해양수산 빅데이터플랫폼(검색일: 2022.9.6.)

계 구축 사업'(2018~2021년)은 해양공간계획·관리 업무를 지원하기 위한 서비스를 제공하며, 계획 수립 및 이행에 필요한 데이터를 제공한다. 따라서 시뮬레이션의 운용에 필요한 해양수산 데이터와 업무지원 기술을 연계할 수 있다. 생태계기반 해양공간계획 의사결정 지원시스템 개발을 위해 추진한 '생태계기반 해양공간분석 및 활용기술 개발'(2017~2021년) 연구개발사업(R&D)은 생태계 현황 자료 및 과학적 분석기법을 통해서 생태계 가치평가 분석법과 평가지표를 개발하였다. 이러한 가치평가 분석법과 평가지표는 정책 시뮬레이션 기술과 융합하여 해양공간의 이용 및 개발에 따른 생태계 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 기술로 발전시킬 수 있을 것으로 기대한다.

해양공간계획 시뮬레이션은 해양수산부 기존 사업 성과와의 연계를 통해서 해양수산 데이터와 평가지표를 적용하고, 생태계 가치평가 분석법과 업무지원 기술을 융합하여 해양공간계획 수립·이행을 지원하기 위한 해양공

〈그림 6-7〉 해양수산부 기존 사업 및 지자체 연계 방안



자료: 저자 작성

간계획 지원시스템(가칭)의 개발·운용할 수 있다. 정책 시뮬레이션 기술과 기존 사업 성과를 연계한 해양공간계획 지원시스템은 '해양공간계획 운영관리 위탁사업'(2019~2022년)에서 추진하는 전문기관의 해양용도구역과 해양공간특성평가, 해양공간적합성협의 업무에 활용한다. 해양공간관리계획 수립 이후에는 광역지자체와 관계기관에서 해양공간계획 지원시스템을 이용하여 해양공간계획 업무를 효과적으로 수행하도록 지원한다.

다. 해양수산부 빅데이터 시스템 연계

앞서 본 연구의 한계점에서 언급하였듯, 시뮬레이션 기술은 입력 자료에 대한 의존성이 높아 해양공간계획 실무에 효과적으로 활용하기 위해서는 다양한 유형의 시의성 있는 데이터가 요구된다. 따라서 해양수산부 및 그 산하기관에서 운영 중인 여러 빅데이터 시스템과의 연계가 필요하다. 대표적으로 해양수산부에서 직접 서비스하는 공동활용체계(해양수산 빅데이터 플랫폼)와 국립해양조사원에서 운영 중인 공유海(내부용), 공유海(외부용)와 연계가 가능하다. 해양공간계획 시뮬레이션과의 연계는 관련 업무의 효율성뿐만 아니라 해양수산부 빅데이터 시스템의 활용도를 개선하는 방안이기도 하다.

해양공간계획 시뮬레이션과 해양수산부 빅데이터 시스템과의 연계는 크게 직접 연계와 간접 연계 방식으로 구현할 수 있다. 전자는 데이터베이스 또는 API 등을 통한 시스템 간에 직접 연계하는 방식으로, 구현이 단순하고 비용 및 기간이 경제적이며 연계 처리 속도가 탁월하지만, 시스템 변경 및 보안에 취약하다. 후자는 웹서비스 및 소켓(socket)을 통한 네트워크 연결 방식으로, 다양한 환경에서도 연계할 수 있고 시스템 변경이나 보안에 유리하지만, 개발 비용 및 시간이 비효율적이고 연계 처리 속도가 느리다.

시스템 연계의 기술적 측면과 아울러 연계를 통한 조직 및 관리적, 법·제도적 요인에 대한 영향 분석도 선행되어야 한다. 기술적 측면에서 상호호

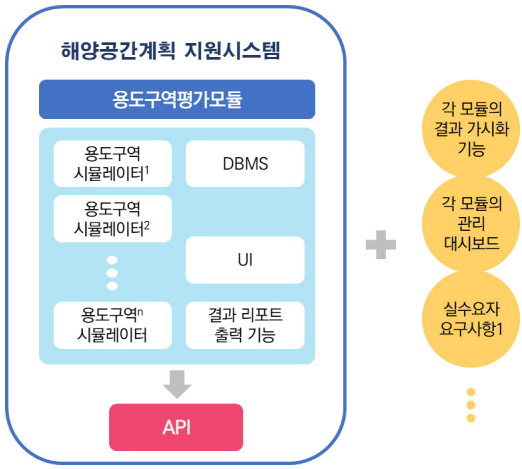
환성 및 표준화, 정보 보안 등에 대한 고려가 필요하며, 연계 시스템의 관리주체가 서로 다른 경우에 조직 및 관리 차원에서 시스템 연계를 위한 추진체계, 업무처리 방법, 협력체계 등에 대한 논의가 필요하다. 또한, 연계 시스템에서 생산·관리하는 정보에 대한 개인정보보호 및 자산관리 차원에서 법 및 제도적 보완이 요구된다.

다. 해양공간계획 지원시스템(가칭)

해양공간계획을 지원하기 위한 해양공간계획 시뮬레이션은 향후 업무지원시스템으로 발전시켜 관리계획의 수립 및 이행을 위한 해양수산부 및 지자체 업무에 직접 활용할 수 있도록 한다. 해양공간계획 지원시스템(MSP Support System: MSP-SS)(가칭)은 본 연구의 시뮬레이션을 적용하여 해양공간계획 제도의 정책 수단인 용도구역(안)의 영향을 예측·평가할 수 있는 모듈(용도구역 평가모듈)을 구성하고, 모듈을 실행하기 위한 데이터베이스(DataBase Management System: DBMS), 인터페이스(UI: User Interface)와 분석 결과를 문서, 그림 등으로 출력할 수 있는 기능 등을 함께 포함한다. 이외에도 용도구역 평가모델의 분석 결과를 지도나 그래프 등 가시화하는 기능, 모듈의 입력 자료 및 결과를 실시간 모니터링할 수 있는 대시보드, 실수요자의 요구사항을 반영할 수 있는 기능 등을 구현하도록 시스템을 설계·개발한다. 용도구역 평가모듈은 API(Application Programming Interface)를[146] 통해서 용도구역 평가기능을 사용하는 외부 시스템과 상호작용하도록 개발하여, 해양공간계획 지원시스템과 통합·연계되어 있는 주무 부처나 지자체의 행정망에서 직접 기능을 사용할 수 있도록 한다. 다음은 정책 시뮬레이션 기술을 적용한 용도구역 평가모듈을 탑재한 해양공간계획 지원시스템(MSP-SS)의 프레임워크(안)을 나타낸 것이다.

146) 응용 프로그램 프로그래밍 인터페이스는 컴퓨터나 컴퓨터 프로그램 사이의 연결이다. 일종의 소프트웨어 인터페이스이며 다른 종류의 소프트웨어에 서비스를 제공(위키백과, 검색일: 2022.9.21.)

〈그림 6-8〉 해양공간계획 지원시스템(MSP-SS) 프레임워크(안)



자료: 저자 작성

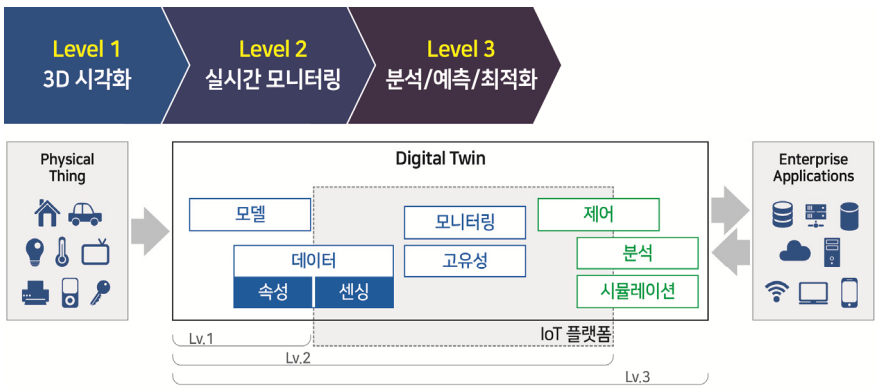
행위자기반 시뮬레이션을 적용한 해양공간계획 지원시스템은 용도구역 평가 및 적합성협의 등 해양공간계획 업무지원 서비스 이외에도 해양공간 통합관리 차원에서 코로나 팬데믹, 수에즈운하 선박사고, 후쿠시마 원전 오염수 방출 등 미래 해양공간의 변화를 예측하여 불확실성을 개선하고, 해양자원의 친환경적, 지속가능성을 보장하기 위한 과학적 정책지원 수단으로써 활용될 수 있다.

디지털 트윈(Digital Twin)은 현실 세계에 존재하는 사물 및 환경 등을 시스템의 가상공간에 동일하게 재현하여 실물 객체의 동적 변화를 시스템에서 모의할 수 있도록 하며, 결과적으로 사물 및 환경 등의 최적화 상태를 구현하는 기술이다.[147] 디지털 트윈 기술은 해양의 자연·인문환경을 3차원으로 구현하며 실시간 모니터링을 가능하게 한다. 디지털 트윈 기술의 최종 단계(분석·예측·최적화)를 실현하는 시뮬레이션 기술은 실세계의 변화와

147) 김용운(2021), pp. 4-9.

모니터링하여 시뮬레이션 결과를 기초로 실세계를 모사한 가상공간에서 정책 대안을 진단할 수 있다.[148] 따라서 시뮬레이션 기술과 디지털 트윈 기술의 융합은 해양공간에서 발생하는 크고 작은 현상 및 사고에 대한 실시간 모니터링을 통해서 미래 환경을 예측하고, 영향을 분석하여 3차원으로 재현할 수 있다. 해양공간계획뿐만 아니라 해양공간의 다양한 현상(기후변화, 국제무역 분쟁 등) 및 사고(후쿠시마 원전 오염수 방류, 수에즈운하 사고 등)에 신속하게 대응하기 위해서 디지털 트윈과 시뮬레이션 기술의 융합을 통해서 실현할 수 있다.

〈그림 6-9〉 디지털 트윈 3단계 구현 레벨



자료: 정득영(2021), p. 24의 자료를 바탕으로 저자 작성

148) 정득영(2021), pp. 10-16.

참고문헌

국내 문헌

강윤호 외(2012), 기후변화로 인한 신지도 근해 해양먹이망 변동예측, Ocean and Polar Research, 34(2), pp. 239-251., 2012

국립생태원(2019), 선유도해수욕장 인근 흰발농게의 분포현황 조사 자료, 국립생태원.

금종수·장운재(2004), SD법을 이용한 해양사고 예방의 정책대안 분석, 해양환경안전학회, 10(2), pp. 17-22.

김동한 외(2014), 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용방안 연구, 국토연구원.

김두환·이재우(2019), 행위자 기반 모형을 활용한 미래연구 방법론의 고찰, 미래연구, 4, pp. 45-67.

김성귀(2013), 해양관광론, 현학사.

김수암·강수영(1999), 해양생태계의 환경수용력과 관련한 최근의 연구경향, 한국수산자원학회지, 2(0), pp. 101-110.

김영준(2015), 에이전트 기반 모델 (Agent-based model)과 그 정치학적 적용, 평화연구, 23(1), pp. 443-476.

김유심·이민창(2007), 행정학·정책학 연구에 있어서 복잡성 이론과 행위자 기반 모형의 활용성에 관한 연구, 행정논총), 45(2), pp. 25-49.

김용운(2021), 디지털 트윈의 개념과 기술 이슈. OSIA Standards & Technology Review, 34(1), pp. 4-9.

김정호·이광남(2008), 어획노력이 어획량에 미치는 영향분석, 수산경영론집, 39(1), pp. 163-194.

김혜진(2019), 해상교통분야의 에이전트 기술 적용 방안 연구, 한국항해항만학회 2019년도 춘계학술대회, 한국항해항만학회.

김홍태·안영중·양영훈(2020), 해상교통분석 시뮬레이션을 위한 항해사의 충돌회피 행동분석에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 44(6), pp. 469-476.

나유경(2014), 침수정보가 교통흐름에 미치는 영향-에이전트 기반 모델을 이용하여 (석사학위, 경희대학교 대학원).

나유경·이승호·조창현(2012), 극한기후 시 의사결정 변화를 고려한 ABM 연구 - 폭우·폭설 시 교통수단 선택을 사례로, 한국경제지리학회지, 15(2), pp. 304-313.

남정호 외(2020), 해양공간계획 번역서, 한국해양수산개발원.

남정호 외(2021), 생태계기반 해양공간분석 및 활용기술 개발, 해양수산 R&D 최종보고서, 해양수산과학기술진흥원.

박경순(2014), 정책·정부 신뢰가 정책 수용도에 미치는 영향 연구(박사학위, 전남대학교 대학원).

박수진 외(2011), 다행위자 시스템(Multi- Agent System)을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안, 녹색성장을 위한 산림 생태계경영 현장 실연 기술 개발 위탁연구과제 용역 보고서, 국립산림과학원.

_____(2012), 다행위자 시스템(Multi- Agent System)을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(2), 녹색성장을 위한 산림 생태계경영 현장 실연 기술 개발 위탁연구과제 용역 보고서, 국립산림과학원.

_____(2013), 다행위자 시스템(Multi- Agent System)을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(3), 생태계서비스 증진을 위한 산림 생태계경영 적용 연구 위탁연구과제 용역 보고서, 국립산림과학원.

_____(2014), 다행위자 시스템(Multi- Agent System)을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(4), 생태계서비스 증진을 위한 산림 생태계경영 적용 연구 위탁연구과제 용역 보고서, 국립산림과학원.

_____(2015a), 다행위자 시스템(Multi- Agent System)을 이용한 산림생태계 이용 효율화 방안(5), 생태계서비스 증진을 위한 산림 생태계경영 적용 연구 위탁연구과제 용역 보고서, 국립산림과학원.

_____(2015b), 다행위자시스템(Multi-Agent System)을 이용한 토지이용 변화와 그 영향에 대한 연구: 산림정책의 변화에 따른 가리왕산과 그 일원의 토지이용변화를 사례로, 대한지리학회지, 50(3), pp. 1-22.

박종민(2004), 에이전트 기반의 해양공간정보시스템 모델링 연구, 한국항해항만학회지, 28(10), pp. 917-923.

박준모(2020), 시뮬레이션 기법을 활용한 울산항의 적정 예선 척수 분석, 해양환경안전학회지, 26(5), pp. 445-453.

박천규 외(2013), 지역 부동산시장의 미시적 동태분석과 정책시뮬레이션 모형 구축 연구(I): 주택시장을 중심으로 문제 진단과 분석기반 구축, 국토연구원.

박천규 외(2020), 주택구매소비자의 의사결정구조를 반영한 주택시장 분석 체계 구축, 국토연구원.

변세일 외(2015), 부동산시장 여건 변화에 대응한 주거지재생 효과분석 시스템 구축(III), 국토연구원.

박용안(2020), Big Data 기반의 한국 해양수산 정책모형 고찰, 국토연구원.

손재선(2021), 감염병의 시공간 확산모형을 활용한 정책 시뮬레이션 방법 개발 연구, 대한지리학회 학술대회논문집, pp. 50-51.

송혜령 외(2021), 어류 행동특성 예측을 위한 행위자기반모형 적용성 검토, 2021년 한국환경농학회 정기총회 및 학술발표대회, 한국환경농학회.

신재영·이장군(2019), 부산항 컨테이너터미널 통합운영 효과측정을 위한 시뮬레이션 연구, 2019년 한국항해항만학회 춘계학술대회, pp. 140-141.

신재영·이장군·박형준(2020), 시뮬레이션을 활용한 부산항 컨테이터너미널 통합운영 효과 분석, 한국항해항만학회지, 44(6), pp. 477-487.

신혜섭(2014), An Agent-based Approach for Modelling Spatial Transmission Processes of Foot-and-mouth Disease in Korea 2010-11(석사학위, 서울대학교대학원).

안민호 외(2017), 해양수산 산업의 특수성과 불확실성을 반영한 시뮬레이션 기반의 기술력평가 모형 개발과 시범사례 연구, 2017년 한국기술혁신학회 추계학술대회, pp. 347-361.

안승혁·윤순진(2021), 행위자 기반 모형을 활용한 농촌관광 사업 주민 참여 연구 – 계획된 행동 이론을 바탕으로, 농촌계획, 27(2), pp. 77-89.

안유순·허동숙·박수진(2017), 국유림의 경제적·환경적 효용을 극대화하는 최적 거버넌스 구축방안 : 가리왕산을 사례로, 대한지리학회지, 52(3), pp. 321-340.

안홍기 외(2010), 국토정책 시뮬레이션 모형의 구축 연구(I), 국토연구원.

염동열(2012), 시민참여가 정책수용도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구(박사학위, 국민대학교 대학원).

유재윤(2009), 국토정책의 시뮬레이션 체계 구축 전략, 국토연구원.

윤소윤 외(2018), 행위자 기반 모델을 이용한 홍수 대피 행동 분석, 한국방재학회지, 18(7), pp. 163-171.

오세웅·강동우·최현수(2019), 에이전트 모델 연동기술 개발방안 연구, 한국항해항만학회 2019년도 춘계학술대회, 한국항해항만학회.

이백진·윤서연·이춘용(2013), 교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발 및 적용방안(I), 국토연구원.

원동규·임종연(2011), 신기술제품의 시장점유율 예측을 위한 행위자 기반 수요확산 모형에 대한 연구, 기술혁신학회지, 14, pp. 1256-1284.

은종호(2015), 양식 미역 패널추정 수급시뮬레이션모형을 활용한 엔화가치 변동에 따른 수급변화 분석(박사학위, 제주대학교 대학원).

이버들·김봉태·조용성(2011), 국내 수산 부문의 지역별 기후변화 취약성 평가 연구, 水産經營論集, 42(1), pp. 57-70.

이상엽·이기헌(2015), 행위자기반모형 (Agent-Based Modeling) 을 이용한 신기술과 지식 확산 연구, 과학기술정책연구원.

이수욱 외(2011), 부동산정책 시뮬레이션 모형 개발과 정책결정지원시스템 구축(I), 국토연구원.

이인성·김충식(2004), 시뮬레이션 모형을 이용한 도시 개발형태 및 경관의 변화 예측, 한국조경학회지, 32(3), pp. 106-113.

이정삼·신영태(2006), 우리나라 연근해어업의 어획능력 측정에 관한 연구, 한국해양수산개발원.

이종덕·박인선·황기연(2015), 행위자기반모형을 활용한 Personal Mobility와 Partial Autonomous Vehicle의 교통혼잡개선효과 분석, 교통연구, 22(1), pp. 27-44.

이종성(2021), 동적 움직임 변화를 반영한 에이전트 기반 코로나-19 시뮬레이션: 접

촉자 발견 수준에 따른 감염 변화, 한국시뮬레이션학회 논문지, 30(1), pp. 43-54.

이종호(2003), 교통시스템분석시 에이전트기반모형기법의 적용, 대한교통학회지, 21(1), pp. 147-156.

이효창·양지청(2015), 연평도 꽃게 자원 최적. 규모 추정을 통한 종합적 관리 방안: 시뮬레이션과 국제협력 및 시사점, 국제지역연구, 19(1), pp. 415-433.

임학수(2021), 해양 디지털트윈 연안관리 시뮬레이션 기술 개발, 2021 해양과학기술융합대학 세미나, 해양과학기술융합대학.

임학수(2022), 해양스마트시티 디지털 트윈 플랫폼 시제품 개발, 한국연안방재학회지, 9(1), pp. 103-111.

임현·한종민·정민진(2009), 미래예측을 위한 시나리오 분석 및 시스템 구축 방안, 한국과학기술기획평가원.

전성제 외(2013), 부동산시장 여건 변화에 대응한 주거지재생 효과분석 시스템 구축(I), 국토연구원.

전성제 외, 부동산시장 여건 변화에 대응한 주거지재생 효과분석 시스템 구축(II), 국토연구원.

정득영(2021), 디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5 단계(level) 모델, OSIA Standards & Technology Review, 34(1), pp. 10-16.

정재운·김현수·최형림(2008), 시스템다이내믹스 활용의 실제와 개선 방안에 관한 연구, 한국시스템다이내믹스학회 2008년 춘계학술대회, 한국시스템다이내믹스학회.

조성진·조창현·최기주(2017), 활동기반모형을 활용한 유연근무제의 교통부분 영향 연구, 대한교통학회지, 35(6), pp. 511-524.

조성진 외(2021), 해양공간 정책시뮬레이션 기술 개발 - 현황 및 도전과제, 한국해양환경·에너지학회 2021년 공동학술대회, 한국해양환경·에너지학회.

채여라 외(2016), 기후변화 대응역량 강화를 위한 시스템다이내믹스 모델 개발, 한국환경연구원.

채여라·정예민(2017), 환경경제 분석에서 행위자 기반 모형의 활용방안 연구, 한국환경연구원.

최병남 외(2005), 시공간통합 국토시뮬레이션모형 개발 연구(I): 국토정책시뮬레이

션모형 개발방법론, 국토연구원.

최병남·임은선·이동우(2006), 시공간통합 국토시뮬레이션모형 개발 연구(Ⅱ) - 국토정책 시뮬레이션을 위한 시공간통합모형 개발방안 -, 국토연구원.

최종두·조정희(2008), 자유어업에서의 가격변화 효과 측정: 이론적 접근과 시뮬레이션 분석, 해양정책연구, 23(1), pp. 219-235.

최지훈 외(2018), 대문어 연안복합어업의 경제적 적정어획노력량 추정, 수산해양기술연구, 54(5), pp. 333-342.

최희정(2018a), 해양공간관리와 누적영향평가 연구: Agent-based modeling과 GIS를 활용한 시나리오 분석(박사학위, 경희대학교 대학원).

_____(2018b), 해양자원의 최적활용을 위한 해양공간계획 수립 연구, 한국해양수산개발원.

최희정 외(2021), 해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구, 한국해양수산개발원.

한국과학기술기획평가원(2015), 지속가능한 수산자원 관리 및 이용 기술개발사업, 한국과학기술기획평가원.

한규현(2007), 복잡계 (Complex Systems) 란 무엇인가?, Nuclear industry, 27(3), pp. 56-61.

해양경찰청(2002), 2001년 해난사고 통계연보, 해양경찰청.

해양수산부(2019), 제1차 해양공간기본계획(2019-2028), 해양수산부.

_____(2020), 공유수면 점용·사용 허가 현황(내부자료)

_____(2022), 해양공간적합성협의 보고서 검토 매뉴얼(안), 해양수산부.

허동숙·안유순·박수진(2016), 토지이용 및 토지피복 변화 모델링(LUCC Modeling)에서의 행위자 의사결정 체계 구축방안-가리왕산 일대를 중심으로, 국토지리학회지, 50(1), pp. 63-80.

Ariuntsetseg·Yum(2013), 행위자 기반 공간 모델을 이용한 구제역 확산 시뮬레이션, 한국측량학회지, 31(3), pp. 209-219.

국외 문헌

Abspoel, L. et al.(2021), Communicating maritime spatial planning: the MSP challen ge approach, Marine Policy, 132, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.0 2.057.

Aizstrauts, A.et al.(2013), Multi-level architecture on web services based policy dom ain use cases simulator, In Barjis, J., Gupta, A., Meshkat, A. Eds., Workshop on Enterprise and Organizational Modeling and Simulation (pp. 130-145), Springer, Berlin, Heidelberg.

Alaliyat, S., Yndestad, H., & Davidsen, P. I.(2019), An agent-based approach for pre dicting patterns of pathogen transmission between aquaculture sites in the Norwegian fjords, Aquaculture, 505, pp. 98-111.

Axelrod, R., & Tesfatsion, L.(2006), Appendix AA guide for newcomers to agent-bas ed modeling in the social sciences, Handbook of computational economics, 2, pp. 1647-1659.

Bailey, R. M. et al.(2019), A computational approach to managing coupled human–e nvironmental systems: the POSEIDON model of ocean fisheries, Sustainabil ity Science, 14(2), pp. 259-275.

Banks, J.(1999), Introduction to simulation, Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation-a bridge to the future-Volume 1, 1999 Winte r Simulation Conference, pp. 7-13.

Bas, G., et al.(2017), MarPEM: An agent based model to explore the effects of policy instruments on the transition of the maritime fuel system away from HFO, Tran sportation Research Part D: Transport and Environment, 55, pp. 162-174.

Bergström, L. et al.(2019), Cumulative impact assessment for maritime spatial plann ing in the Baltic Sea region, Pan Baltic Scope.

Burgess, M. G. et al.(2020), Opportunities for agent-based modelling in human dime nsions of fisheries, Fish and Fisheries, 21(3), pp. 570-587.

Cahill, B. et al.(2017), MSP Data Study: Evaluation of data and knowledge gaps to implement MSP, European Union.

Choi, H. et al.(2021), Cumulative Impact Assessment for Marine Spatial Planning: A Case Study of the Gyeonggi Bay in South Korea, Journal of Coastal Research, 114(SI), pp. 360-364.

Cleland, D. et al.(2010), SimReef and ReefGame: gaming for integrated reef research and management, In Cleland, D. et al. Eds., Building capacity in coral reef science: An anthology of CRTR scholars' research 2010(pp. 123-129), University of Queensland.

Crooks, A. et al.(2018), Agent-based modelling and geographical information systems: a practical primer, Sage.

Depellegrin, D. et al.(2021), Current status, advancements and development needs of geospatial decision support tools for marine spatial planning in European seas, Ocean & Coastal Management, 209, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105644.

Farella, G. et al.(2020), Incorporating ecosystem services conservation into a scenario-based MSP framework: An Adriatic case study, Ocean & coastal management, 193, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105230.

Frome, E. L.(1982), Algorithm AS 171: Fisher's Exact Variance Test for the Poisson Distribution, Journal of the Royal Statistical Society, 31(1), pp. 00-00.

Gangnery et al.(2021), Web-based public decision support tool for integrated planning and management in aquaculture, Ocean & Coastal Management, 203, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105447.

Getis, A., & Ord, J. K.(1992), The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics, Geographical Analysis, 24(3), pp. 189-206.

Goke, C., Dahl, K., & Mohn, C. (2018), Maritime Spatial Planning supported by systematic site selection: Applying Marxan for offshore wind power in the western Baltic Sea, PLoS One, 13(3), https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194362.

Grimm, V. et al.(2005), Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: lessons from ecology, Science, 310(5750), pp. 987-991.

Grimm, V. et al., A standard protocol for describing individual-based and agent-based models, Ecological modelling, 198(1-2), pp. 115-126.

Hammar, L. et al.(2020), Cumulative impact assessment for ecosystem-based marin e spatial planning, Science of the Total Environment, 734, https://doi.org/1 0.1016/j.scitotenv.2020.139024.

Hansen, H. S.(2019), Cumulative impact of societal activities on marine ecosystems and their services, In Sanjay M. et al. Eds., Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019(pp. 577-590). Springer.

Haraldsson, H. V.(2004), Introduction to system thinking and causal loop diagrams, Department of chemical engineering, Lund University.

Janben, H., Goke, C., & Luttmann, A.(2019), Knowledge integration in Marine Spatia l Planning: a practitioners' view on decision support tools with special focus on Marxan, Ocean & Coastal Management, 168, pp. 130-138.

Jentoft, S., & Chuenpagdee, R.(2009), Fisheries and coastal governance as a wicked problem, Marine policy, 33(4), pp. 553-560.

Kang, J. Y. & Aldstadt, J.(2019), Using multiple scale spatio-temporal patterns for validating spatially explicit agent-based models, International Journal of Geographical Information Science, 33(1), pp. 193-213.

Kirchgeorg, M., Jung, K., & Klante, O.(2010), The future of trade shows: insights from a scenario analysis, Journal of Business & Industrial Marketing, pp. 301 -312.

Kotta, J. et al.(2020), Online tool to integrate evidence-based knowledge into cumul ative effects assessments: Linking human pressures to multiple nature asset s, Environmental Advances, 2, https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100 026.

Kwon, H. R., & Silva, E. A.(2020), Mapping the landscape of behavioral theories: Systematic literature review, Journal of Planning Literature, 35(2), pp. 161-179.

Lindkvist, E. et al.(2020), Navigating complexities: agent-based modeling to suppor t research, governance, and management in small-scale fisheries, Frontiers in Marine Science, 6, https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00733.

McDonald, A. D. et al.(2008), An agent-based modelling approach to evaluation of multiple-use management strategies for coastal marine ecosystems, Mathe

matics and Computers in Simulation, 78(2-3), pp. 401-411.

MEA(2005), Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press.

Melbourne-Thomas, J.(2011), Coupling biophysical and socioeconomic models for coral reef systems in Quintana Roo, Mexican Caribbean, Ecology and Society, 16(3), http://dx.doi.org/10.5751/ES-04208-160323.

Menegon, S. et al.(2018a), Addressing cumulative effects, maritime conflicts and ecosystem services threats through MSP-oriented geospatial webtools, Ocean & Coastal Management, 163, pp. 417-436

Menegon, S. et al.(2018b), Tools4MSP: an open source software package to support Maritime Spatial Planning, PeerJ Computer Science, 4, https://doi.org/10.7717/peerj-cs.165.

Michalewicz, Z.(1994), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer.

Miller, B. W. et al.(2010), Using stylized agent-based models for population–environment research: a case study from the Galápagos Islands, Population and environment, 31(6), pp. 401-426.

Mortensen et al.(2021), Agent-based models to investigate sound impact on marine animals: bridging the gap between effects on individual behavior and population level consequences, Oikos, 130(7), pp. 1074-1086.

Nebiolo(2017), Anticipating the effects of economic displacement in Marine space with agent based models, Doctoral thesis, University of Connecticut.

Ord, J. K., & Getis, A.(1995), Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application, Geographical analysis, 27(4), pp. 286-306.

Perez et al.(2009), An agent-based model to address coastal management issues in the Yucatan Peninsula, Mexico, 18th World IMACS and MODSIM09 Congress on Modelling and Simulation.

Petersen, I. K., & Topping, C. J.(2013), Development of an Agent-based model to compare the impacts from different OWF development scenarios on Divers, 2013 Loons and Divers Workshop.

Pinarbasi et al.(2017), Decision support tools in marine spatial planning: present

applications, gaps and future perspectives, Marine Policy, 83, pp. 83-91.

Pizzitutti, F., Mena, C. F., & Walsh, S. J.(2014), Modelling tourism in the Galapagos Islands: An agent-based model approach, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 17(1), https://doi.org/10.18564/jasss.2389.

Ruskule, A. et al.(2019), LIFE Viva Grass recommendations on ecosystem-based pla nning and grassland management, 2019 Baltic Environmental Forum.

Ruth, M., & Pieper, F.(1994), Modeling Spatial Dynamics of Sea-level Rise in a Coast al Area, System Dynamics Review, 10(4), pp. 375-389.

Stamoulis, K. A., & Delevaux, J. M.(2015), Data requirements and tools to operationa lize marine spatial planning in the United States, Ocean & Coastal Managem ent, 116, pp. 214-223.

Steenbeek, J.(2020), Combining ecosystem modeling with serious gaming in suppor t of transboundary maritime spatial planning, Ecology & society, 25(2), http s://doi.org/10.5751/ES-11580-250221.

Stelzenmuller et al.(2013), Practical tools to support marine spatial planning: A revi ew and some prototype tools, Marine Policy, 38, pp. 214-227.

Tobler, W. R.(1979), Cellular geography, In Gale, S., & Olsson, G. Eds., Philosophy in geography(pp. 379-386). Springer.

Topping, C., & Petersen, I. K.(2011), Report on a red-throated diver agent-based model to assess the cumulative impact from offshore wind farms, Danish Centre for Environment and Energy.

Voinov, A. et al.(1999), Patuxent landscape model: integrated ecological economic modeling of a watershed, Environmental Modelling & Software, 14(5), pp. 473-491.

Wilensky, U., & Rand, W.(2018), An introduction to agent-based modeling: modelin g natural, social, and engineered complex systems with NetLogo, Mit Press.

Zaucha J.(2012), Offshore Spatial Information – Maritime Spatial Planning in Polan d", Regional Studies, 46(4), pp. 459–473.

Zaucha J.(2018), Gospodarowanie przestrzenią morską, Warszawa.

인터넷 자료

AnyLogic Help, Statecharts, https://anylogic.help/anylogic/statecharts/statecharts.html(검색일: 2022.9.13.)

AnyLogic 홈페이지, AnyLogic 화면, https://www.anylogic.com/(검색일: 2022.6.12.)

Baltic Explorer, Baltic Explorer Platform, http://balticexplorer.eu/(검색일: 2022.8.21.)

BONUS BASMATI, Baltic Sea Marine Spatial Planning for Sustainable Ecosystem Services, https://bonusbasmati.eu(검색일: 2022.9.3.)

GeeksforGeeks, PostgreSQL – System Architecture, https://www.geeksforgeeks.org/postgresql-system-architecture/(검색일: 2022.9.5.)

Miloš, A. & Bergstrom, L.(2020.1.24.), Cumulative impact assessment toolbox, GitHub, https://github.com/helcomsecretariat/Cumulative-impact-Assessment-Toolbox(검색일: 2022.9.3.)

MSP Challenge, MSP Simulation Platform, https://www.mspchallenge.info/(검색일: 2022.6.20.)

NetLogo 홈페이지, NetLogo 화면, https://ccl.northwestern.edu/netlogo/(검색일: 2022.6.12.)

Open ABM, Open ABM 사용자포럼, https://www.openabm.org(검색일: 2022.9.6.)

PlanWise4Blue, https://www.sea.ee/planwise4blue(검색일: 2022.9.3.)

SIMCelt, 스토리맵, https://daerani.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=aff6b573d3e545dabbffc1590d5f655c(검색일: 2022.9.14.)

위키백과, API, https://ko.wikipedia.org/wiki/API(검색일: 2022.9.21.)

위키백과, 관광, https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B4%80%EA%B4%91(검색일: 2022.6.13.)

유병혁(2013.6.13.), GIS 데이터 이해하기, 티스토리, https://foss4g.tistory.com/480(검색일: 2022.4.12.)

표준국어대사전, 어민 & 어선, https://stdict.korean.go.kr/main/main.do(검색일: 2022.9.14.)

해양수산 빅데이터플랫폼, https://www.vadahub.go.kr/user/main.do(검색일: 2022.9.6.)

해양수산부 해양공간통합관리정보시스템, https://www.msp.go.kr(검색일: 2022.8.22.)

해양환경정보포털, https://www.meis.go.kr/mei/observe/port.do(검색일: 2022.5.21.)

홈볼트대학, Raster To Vector, http://gsp.humboldt.edu/olm/Lessons/GIS/08%20Rasters/RasterToVector.html(검색일: 2022.9.12.)

법령 및 판례 자료

수상레저활동 금지구역 일부 개정 고시(2020.9.18., 군산해양경찰서 고시 제2020-3호)

수상레저활동 금지구역 지정 고시(2020.8.28., 부안해양경찰서 고시 제2020-3호)

해양공간계획법 시행규칙(2021.6.30., 해양수산부령 제486호)

해양공간계획법(2021.1.5., 법률 제17857호)

해양공간관리계획의 수립 및 관리 등에 관한 규정(2021.3.17., 해양수산부 고시 제2021-64호)

해양공간적합성협의에 관한 업무처리규정(2019.6.12., 해양수산부 고시 제2019-74호) 참고

해양공간특성평가 지침(2019.6.12., 해양수산부 고시 제2019-76호)

1. 국내 선행연구

〈부록 표 1〉 국내 선행연구 리스트

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
1	• (과제명) 행위자기반의 공간변화 시뮬레이션 모형 구축과 국토도시정책 활용방안 연구 • (연구자(년도)) 김동한 외(2014) • (연구 목적) 국토 및 도시 공간구조의 변화 과정을 미시적 관점에서 시뮬레이션하기 위한 도시모형 개발	• 행위자기반모형과 행위자의 입지 선택을 위한 계량경제학의 입지이론을 적용함 • 부산권역의 고밀복합개발입지, 개별산업입지에 대한 사례분석을 통해 다양한 정책 시나리오에 따른 공간변화를 모의하여 모형의 성능과 활용성을 검토함	• 국토도시정책의 불확실성을 개선하기 위한 과학적 정책 수단 필요 • 정책변화→행위변화→공간변화로 연계되는 사회경제적 효과를 분석하는 통합계획지원체계 필요 • 과학적 분석과 시나리오 기반 미래공간구조 구상을 국토도시정책에 반영하도록 공간계획체계와 법제도 보완 필요
2	• (과제명) 환경경제 분석에서 행위자기반모형의 활용방안 연구 • (연구자(년도)) 채여라·정예민(2017) • (연구 목적) 환경경제 분석법으로서 행위자기반모형의 활용 가능성을 검토함	• 환경, 교통, 보건, 경제 등 다양한 분야에서 활용 사례를 검토하여 환경문제에 대한 행위자기반모형의 적용 가능성 검토	• 환경문제의 특성을 고려해 환경가치평가, 배출권 거래제, 전력시장 등 환경경제 이론에 바탕을 둔 분야에 적용 가능함 • 최근 빅데이터 인프라와 컴퓨팅 환경으로 인해 행위자기반모형의 분석 능력이 향상됨
3	• (과제명) Big Data 기반의 한국 해양수산 정책모형 고찰 • (연구자(년도)) 박용안(2020) • (연구 목적) 해양수산 정책의 이질적 요소를 통합하고 산업간 융·복합을 위한 빅데이터 기반 해양수산 정책모형의 개발 방향 제안	• 문헌조사를 통한 해양수산 정책의 논점과 시사점 도출 • 국내·외 빅데이터를 활용한 정책개발사례분석 • 해양수산 부문 빅데이터 현황 및 빅데이터 기반 해양정책의 수요 변화를 검토	• IoT, 위성통신, 5G 등 최근 통신환경의 개선은 빅데이터를 이용한 해양수산 정책의 환경과 수요 변화를 감지하고, 대안별 시뮬레이션을 가능하게 함 • AIS 등 데이터의 통합을 통해 해운·항만, 안전, 환경, 에너지 등 다양한 정책개발 활용

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
4	• (과제명) 국토정책 시뮬레이션 모형의 구축 연구 (1) • (연구자(년도)) 안홍기 외(2010) • (연구 목적) 국토정책의 다양한 효과를 종합 분석할 수 있는 통합시뮬레이션모형(KRIHS-SIM) 개발·적용	• UrbanSim 모형을 벤치마킹하고, 다양한 S/W 자원을 연계할 수 있는 오픈 플랫폼을 구축함 • 1단계 연구는 지역경제모형, 인구이동모형, 기업입지모형, 토지이용변화모형을 통합 연계하여 국토정책 시뮬레이션 모형을 개발함	• 신도시 계획, 산업단지 개발, 공공기관 이전 등 대표적인 국토계획 시나리오를 이용해 지역경제, 인구이동, 기업 입지 등에 대한 계획효과를 분석함 • 프로토타입 모형의 확장과 더불어 하부 모형의 정교화 필요
5	• (과제명) 해상교통분야의 에이전트 기술 적용 방안 연구 • (연구자(년도)) 김혜진(2019) • (연구 목적) 해상교통을 사실적으로 모사하기 위해 행위자기반의 시뮬레이션 기술을 분석하고 적용 방안을 평가함	• 교통 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 행위자 기반 시나리오를 토대로 거시적·미시적 분석이 가능한 교통 분석 환경 구성	• 단편적인 해상교통 위험도 분석 방법인 IWRAP, PAWSA에 비해 행위자기반모형을 통해 해상교통 환경을 총체적으로 분석할 수 있음 • 모든 요소에 대한 '에이전트화'는 용이하지 않으나, 해상교통 환경을 분석하는 데 최적의 방법으로 사료 됨
6	• (과제명) 행위자 기반 공간 모델을 이용한 구제역 확산 시뮬레이션 • (연구자(년도)) Ariuntsetseg & Yom(2013) • (연구 목적) 질병 확산에 대한 시뮬레이션을 위한 공간 빅데이터와 통합된 공간 명시적 행위자기반 공간모델 구축	• 행위자기반 공간 모델 소프트웨어 NetLogo를 활용하여 질병 확산 시뮬레이션 모델을 구현하였음 • NetLogo는 GIS 확장 모듈이 있어 질병 역학 자료, 공간데이터를 토대로 구축한 모델에 다양한 시나리오를 적용하여 모델의 성능 및 활용도 분석함	• 질병 상황을 예측하고 최초발생지를 인지하여 효과적인 방역조치 및 발생규모를 감소시킬 수 있음 • 정확한 질병 역학 정보 및 발생 위치정보, 발병 시간 등의 자료를 수집하여 모델의 정확도 향상 필요
7	• (과제명) 에이전트 기반 모델 (Agent-based model)과 그 정치학적 적용 • (연구자(년도)) 김영준(2015)	• 다양한 분야에서 행위자기반모형을 활용한 사례를 검토함	• 정치학의 복잡한 변수 간 상관관계의 영향을 고려하기 위해 행위자기반모형은 유연성이 뛰어나며 활용도가 높은 방법론이며, 기술적 진입장벽이 다소 높으나 활용도가 방대함

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
	• (연구 목적) 행위자기반모형에 대한 기초정보 제공 및 정치학 연구의 방법론으로서의 적합성과 활용 가능성을 검토함		• 타당성 검증이 중요하지만, 검증 방법이 규격화가 이루어져 있지 않기 때문에 다소 어려움
8	• (과제명) 행정학·정책학 연구에 있어서 복잡성 이론과 행위자 기반 모형의 활용성에 관한 연구 • (연구자(년도)) 김유심·이민창 (2007) • (연구 목적) 행위자기반모형 고찰 및 행정학·정책학 연구에 시사하는 이론적·방법론적 함의와 활용 가능성을 검토함	• 다양한 분야에 행위자기반모형을 활용한 사례를 검토함	• 행위자기반모형은 복잡한 행정 현상의 존재하는 메커니즘에 대한 가설 설정, 거시적 유형에 대한 이해, 정책 결정에 결과 예측 측면에서 폭넓게 응용될 수 있는 방법론임 • 현상의 시·공간적 특성을 살펴보는 데 유용하나, 일정한 형태의 유형이 창발하는 과정의 모형화는 '동종국성' 문제로부터 자유롭지 못함
9	• (과제명) 행위자 기반 모델을 이용한 홍수 대피 행동 분석 • (연구자(년도)) 윤소연 외(2018) • (연구 목적) 행위자기반모형을 이용해 긴급 상황에서 대피 행동에 미치는 요인 분석	• 행위자의 행동 특성을 파악하기 위한 설문조사 수행 • 대피소 위치 인지 여부, 대피 시점, 이동 수단 선택에 대한 시나리오 설계 • 행위자기반모형을 이용한 대피 효율성 비교	• 도시 규모의 실제 재해영향권에서 시민들의 행동 패턴과 대비 소요 시간을 분석하여 지역 단위 대피계획 수립에 활용 가능함 • 다양한 행위자의 대피 행동 정보와 계산 효율성을 보완할 수 있는 후속 연구 필요
10	• (과제명) 에이전트 모델 연동기술 개발방안 연구 • (연구자(년도)) 오세웅 외(2019) • (연구 목적) 행위자기반 시뮬레이션 모델연동 기술 개발 방안 제안	• 개방형 시뮬레이션 플랫폼과 기능 목업 인터페이스(FMI) 분석 • 에이전트모델의 인터페이스 표준 정의 • 전자해도 기반 시뮬레이션 파라미터 조작 환경과 적용 모듈 개발	• 복잡한 해상교통환경 재현 및 시뮬레이션 연구가 가능한 에이전트모형 연동 기술 개발 방안 제시

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
11	• (과제명) 어류 행동특성 예측을 위한 행위자기반모형 적용성 검토 • (연구자(년도)) 송혜령 외(2021) • (연구 목적) 어류 행동특성 파악을 위한 행위자기반 모형의 활용 가능성 검토	• 국내외 생태 분야의 모형 적용 사례분석 • 입력변수 특성 분석 및 소프트웨어 특징 비교 분석	• 적합한 입력 인자를 종합하여 종적 연결성 평가 모델의 구축 필요
12	• (과제명) 행위자 기반 모형을 활용한 미래연구 방법론의 고찰 • (연구자(년도)) 김두환·이재우(2019) • (연구 목적) 미래연구의 개념과 예측방법론 소개	• 문헌연구를 통한 미래 연구 개념 및 시뮬레이션 기법 고찰 • 넷로고 소프트웨어를 활용한 행위자기반모형 구현	• 미래 연구의 목적은 다가올 미래를 예측하고 이해하고 대응하는 것 • 실제 현상을 설명할 수 있는 행위자기반모형을 미래 연구 방법론으로 적합함
13	• (과제명) 해상교통분석 시뮬레이션을 위한 항해사의 충돌회피 행동분석에 관한 연구 • (연구자(년도)) 김홍태 외(2020) • (연구 목적) 행위자기반 해상교통 시뮬레이션을 위한 항해사 충돌회피 행동 분석	• 설문조사를 통한 기초 데이터 확보 • 행위자기반 항해 행동 모델 개발	• 해상교통 상황의 재현 및 예측을 위해 항해사의 인적 요인 모델링 필요 • 선박 및 관제사 에이전트 등과 연동되어 해상교통 재현 및 예측 시뮬레이션 플랫폼 개발에 활용될 것으로 기대
14	• (과제명) 시뮬레이션 기법을 활용한 울산항의 적정 예선 척수 분석 • (연구자(년도)) 박준모(2020) • 연구 목적) 울산항 예선 적정 척수 및 예선 마력 비율 제시	• 시뮬레이션 기법 • 울산항 2019년 선박 입출항 데이터 • ARENA 소프트웨어 모델 구현	• 예선은 항만 안전과 효율적 운영을 위한 중요한 요소임에도 관련 연구가 부족한 실정임 • 울산항 예선 척수를 42척으로 조정할 경우 효율적인 운영 가능
15	• (과제명) 지역 부동산시장의 미시적 동태분석과 정책시뮬레이션 모형 구축 연구(1)	• 주택시장의 미시적 동태분석을 위한 분석 기반의 모형 구축	• 주택시장권역 구분 및 제시를 통한 주택시장의 미시적, 동태적 분석을 위한 시스템(K-MAS) 개발

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
	• (연구자(년도)) 박천규 외(2013) • (연구 목적) 지역 부동산시장의 미시적 동태분석과 정책 시뮬레이션 모형 구축	• 지역별 주택시장 양상 변화, 주택 수급 문제를 진단할 수 있는 방법론 개발 • 부동산시장 소비자의 동태적 행태분석을 위한 패널조사	• 부동산시장의 행태 분석을 위한 패널조사 체계 마련
16	• (과제명) 감염병의 시공간 확산모형을 활용한 정책 시뮬레이션 방법 개발 연구 • (연구자(년도)) 손재선(2021) • (연구 목적) 감염병 확산방지 정책에 활용할 수 있는 시공간 확산모형 검토, 방역정책 시뮬레이션 방법 개발	• 시공간 확산모형에 대한 문헌연구 • 코로나19 확산(경로) 자료 분석을 통한 확산패턴의 시공간 특징 분석 • 시뮬레이션 방법론 개발	• 글로벌 감염병에 대한 사회적 거리두기 정책에 관한 시뮬레이션 연구 부재 • 감염병 확산경로에 따른 지역별 위험도 산출 • 사회적 거리두기 정책의 시나리오별 시뮬레이션 수행 및 평가
17	• (과제명) 부산항 컨테이너터미널 통합운영 효과측정을 위한 시뮬레이션 연구 • (연구자(년도)) 신재영·이장군(2019) • (연구 목적) 부산항 신항 터미널의 효율적인 운영 방향 제시	• 컨테이너터미널 운영에 관한 시뮬레이션 연구 • 컨테이너터미널 프로세스 분석	• 국내 항만의 통합 운영의 효과에 관한 과학적 연구 부족 • 시뮬레이션 연구를 통한 부산항 컨테이너터미널의 통합 운영의 효과 분석
18	• (과제명) 해양수산 산업의 특수성과 불확실성을 반영한 시뮬레이션 기반의 기술력평가 모형 개발과 시범사례 연구 • (연구자(년도)) 안민호 외(2017) • (연구 목적) 해양수산 산업에 특화된 평가체계 제안	• 평가지표 개선 • 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 평가 척도 및 평가 등급 산출방식 제안 • 기술력평가 체계의 시범사례	• 국내 기술력평가 모형과 제도 분석 • 해양수산분야 기술력평가모형 개선

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
19	• (과제명) 행위자 기반 모형을 활용한 농촌관광 사업 주민 참여 연구 – 계획된 행동 이론을 바탕으로 • (연구자(년도)) 안승혁·윤순진(2021) • – 연구 목적: 농촌관광 사업의 주민참여 과정에 미치는 영향 요인 분석	• 행위자기반모형을 이용한 농촌관광사업의 주민 참여 과정을 시뮬레이션 분석 • 농촌마을 주민 대상의 설문조사 • 주민 의사결정에 대한 시나리오 구성	• 시뮬레이션 연구를 통해 마을사업에 대한 주민 의사결정에 영향을 주는 요인 및 요인 관계에 대한 장기적인 고찰 • 사업참여모형은 계획된 행동이론, 주관적 규범, 지각된 행동 통제 요인에 따라 결정
20	• (과제명) 국토정책의 시뮬레이션 체계 구축 전략 • (연구자(년도)) 유재윤(2009) • (연구 목적) 다양한 정책 유형에 맞는 국토정책 시뮬레이션 체계 수립	• 공간정책의 시뮬레이션 연구 동향에 대한 문헌조사 • 정책보고서를 통한 국토정책에 대한 분석	• 시뮬레이션 기법은 GIS 결합을 통해 국토정책의 공간적, 사회경제적 효과를 예측, 평가하는데 적합한 방법론 • 국토정책 시뮬레이션은 국토정책에 대한 가상, 모의분석을 통해 정책 효과를 사전 진단
21	• (과제명) 양식 미역 패널추정 수급시뮬레이션모형을 활용한 엔화가치 변동에 따른 수급변화 분석 • (연구자(년도)) 은종호(2015) • (연구 목적) 관련 정책변화에 따른 양식 미역 수급 영향 분석	• 미역의 횡단면, 시계열 자료를 이용한 패널추정기법 • 중장기 수급시뮬레이션모형 구축 • 문헌조사를 통한 수급 모형 관련 선행연구 검토	• 내수용 미역 생산은 양식 면적, 생산량, 가격 변화는 작으나, 대일 수출량은 일본 상황에 따라 변화함 • 양식 미역의 중장기 수급 전망과 정책에 따른 수급 변화를 분석 가능
22	• (과제명) 교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션모형 개발 및 적용방안(1) • (연구자(년도)) 이백진 외(2013) • (연구 목적) 교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발 및 적용 방안	• 활동기반 시뮬레이션 모형을 이용한 수도권 대상의 시나리오 분석 • 해외 연구팀과 공동연구 추진	• 활동기반 시뮬레이션 모형은 지역 특성을 고려한 교통정책 수립, 교통정책 파급효과 분석에 활용 가능 • 한국형 활동기반 시뮬레이션 모형(ACTOR) 개발계획 수립

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
23	• (과제명) 행위자기반모형을 이용한 신기술과 지식 확산 연구 • (연구자(년도)) 이상엽·이기헌(2015) • (연구 목적) 신기술 및 지식확산연구에 있어서 행위자기반모형의 적절성과 정부 역할 제시	• 신기술과 지식 확산 관련 문헌연구 • 행위자기반모형의 이론 및 적용사례에 대한 검토 • 행위자기반모형을 이용한 사례분석	• 정부 정책 결정에 따른 지식 커뮤니티의 거시적 변화를 미리 확인하는 데 기여 • 소프트웨어 지식 확산을 위해 정부의 충분하고 시의적절한 재정 지원 필요
24	• (과제명) 부동산정책 시뮬레이션 모형 개발과 정책결정지원시스템 구축(1) • (연구자(년도)) 이수욱 외(2011) • (연구 목적) 부동산정책 효과 분석 시뮬레이션 모형 개발	• 2000~2020년 수도권과 비수도권 대상 사례분석 • 부동산정책 효과를 측정하기 위한 지표 선정 • 시스템다이내믹스를 이용한 시뮬레이션모형 구축 • 문헌연구, 공동연구, 해외사례 조사 등	• 시스템다이내믹스는 부동산 문제 인자들 간 인과관계 분석과 이해에 기초해 현상의 동태적 변화를 모의하는 데 적합한 방법론 • 부동산 정책 시뮬레이션 모형은 다양한 정책 강도 및 조합에 따른 효과를 사전 진단 방안
25	• (과제명) 시뮬레이션 모형을 이용한 도시 개발형태 및 경관의 변화 예측 • (연구자(년도)) 이인성·김충식(2004) • (연구 목적) 건축물 형상 제어 요소가 도시경관에 미치는 영향 분석	• 도시경관분석을 위한 기법과 척도, 시뮬레이션 연구 동향 분석 • AutoCAD와 Visual Basic, MS Access를 이용한 시뮬레이터 개발 • 서울시 강남구 신사동 대상 건물 고도 규제방식의 효과에 대한 사례연구	• 시뮬레이션 모형이 법규의 변화에 따른 도시 형태의 변화 예측에 유용함 • 미시적 도시계획에 있어서 대상지의 특성이 반영된 다양한 정책 및 규정에 대한 사전 검토 가능
26	• (과제명) 해양 디지털트윈 연안관리 시뮬레이션 기술 개발 • (연구자(년도)) 임학수(2021) • (연구 목적) 지역 상생·맞춤형 해양 디지털트윈 기반 연안관리 활성화 및 해양 신산업 육성	• 디지털트윈 3D-GIS 시스템 개발 • 시뮬레이션 시스템 패키지 구축 • 연안 가상화 시스템 • 해안선 변화 시스템 • 지역표사관리 시스템	• 지역 해양 신산업 창출 및 활성화 • 해양분야 4차산업혁명 대응 • 연안도시의 도시재생 촉진 및 가치 창출 플랫폼 기대

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
27	• (과제명) 해양공간 정책시뮬레이션 기술 개발 • (연구자(년도)) 조성진 외(2021) • (연구 목적) 해양공간정책 지원도구로서 행위자기반모형의 활용 가능성 시사	• 활동기반모형의 이론 및 방법론 특성에 대한 문헌연구 • 활동기반모형의 개발 및 적용사례에 대한 분석	• 활동기반모형은 정책환경 및 대상의 변화와 자연·인문 요소의 상호작용이 활발한 해양분야 적합한 방법론이지만, • 시뮬레이션 검증, 모델 인자의 초깃값에 대한 의존성 등 한계점을 내포하므로 보완 기술 병행 필요
28	• (과제명) 기후변화 대응역량 강화를 위한 시스템다이내믹스 모델 개발 • (연구자(년도)) 채여라 외(2016) • (연구 목적) 국가 차원의 기후변화 대응 역량 강화를 위한 기후환경영향 시뮬레이션 모델	• 시스템다이내믹스를 이용한 기후환경영향 시뮬레이션 모형 개발 • 2000~2050년 전국 도시, 농촌을 대상으로 부문별 기후변화 영향 분석	• 시스템다이내믹스는 기후변화로 인한 영향이 분야별로 순환적, 복합적 상호관계에 적합한 방법론 • 기후변화 시나리오(RCP 8.5)를 기준으로 기후변화 총피해액은 2050년까지 지속적으로 상승 예상
29	• (과제명) 시공간통합 국토시뮬레이션모형 개발 연구(1) • (연구자(년도)) 최병남 외(2005) • (연구 목적) 시공간통합 분석방법론 마련	• 시스템다이내믹스와 GIS 기반 공간분석방법을 결합한 시공간모형 개발	• 동태모형과 공간모형을 결합한 국토정책에 따른 시공간 변화를 사전 예측하는 국토정책 시뮬레이션 모형의 틀 제시 • 정책사례 시나리오 분석을 통한 방법론의 활용 가능성 검토
30	• (과제명) 자유어업에서의 가격변화 효과 측정 이론적 접근과 시뮬레이션 분석 • (연구자(년도)) 최종두·조정희(2008) • (연구 목적) 효율적인 수산자원관리 방안 제시	• 로지스틱성장함수를 통한 생물경제모델 설정 • 자유어업의 정태적·동태적 균형에 대한 이론적 접근 • 시뮬레이션을 이용한 균형점의 실증 결과 도출	• 가격 변화가 자유어업에서 미치는 영향에 대한 정태적, 동태적 분석 모델 제시 • 동태적 자유어업에서의 자원관리가 남획에 대비하고 수산자원의 효율적 관리하며, 수산자원 고갈에 대응할 수 있는 실효적 정책대안 제시

자료: 저자 작성

2. 국외 선행연구

〈부록 표 2〉 국외 선행연구 리스트

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
1	• (과제명) An agent-based modelling approach to evaluation of multiple-use management strategies for coastal marine ecosystems • (연구자(년도)) McDonald et al.(2008) • (연구 목적) 연안 및 해양·생태계에 대한 유류·가스, 보전, 어업, 도시·산업발전 영역별 다중 이용 관리전략의 영향 평가	• 행위자기반모형 소프트웨어 InVitro를 관리전략 평가(MSE)의 분석 틀로 하고, 생물리학모형, 사회경제모형, 거버넌스모형 등 하부모형으로 구성함 • 호주 NWS 지역을 대상으로 관리전략, 이행모델, 개발시나리오의 세 축으로 인한 인간 행태와 해양생태계에의 영향을 평가함	• 행위자기반모형을 적용한 MSE는 다양한 전략 및 모형 설정에 따른 시스템의 효과를 평가하는 데 적합 • InVitro는 다양한 인간 행태와 환경 특성을 평가 과정에 적용할 수 있는 유연한 모델링 기법 • 분석에 사용된 평가지표는 이해관계자와 관리자 모두에게 타 부문 간 상호작용을 분석할 수 있게 함
2	• (과제명) Modelling Tourism in the Galapagos Islands: An Agent-Based Model Approach • (연구자(년도)) Pizzitutti, Mena, & Walsh(2014) • (연구 목적) 갈라파고스섬의 관광산업이 지역경제 및 생태계에 미치는 영향을 분석하고, 관광 분야에서 행위자기반모형의 활용 가능성을 평가함	• 관광객과 숙박시설을 제공하는 시장의 행위자로 구성된 행위자기반모형을 이용하여 사례지역의 환경 변화와 관광산업에 대한 시나리오를 토대로 상호작용 및 영향을 분석함 • 관광객 행위자는 평균적인 행태를, 시장 행위자는 조사 자료를 참조하여 특성 및 속성을 정의함	• 관광 수요와 공급에 대한 모델링 분석 결과 실제 관측된 데이터와 유사한 추세가 나타나 모델 성능이 검증됨 • 향후 어업, 농업, 토지이용 등 다양한 모델링 요소를 추가 적용하고, 부가적인 데이터를 수집하여 모델 고도화 및 검증에 활용하고자 함
3	• (과제명) Opportunities for agent-based modelling in human dimensions of fisheries • (연구자(년도)) Burgess et al.(2020)	• 행위자기반모형을 적용한 POSEIDON 소프트웨어를 이용한 사례연구를 통해 1) ITQ, MPA 등 어업 관련 다양한 제도 간 상호작용, 2) 수산과학 및 수산업에 있어서 인식 및 행동과학의 결합, 3) 어	• 행위자기반모형은 수산업의 다양한 현상 및 정책을 분석하기에 적합한 방법임 • 모형의 유연함, 범용성에도 불구하고 수산정책에 적용하기 위해서 모델링 결과의 검증, 모델링 복

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
	• (연구 목적) 어업의 인간 행태 분석에 있어 행위자 기반모형 적용 방법 및 활용 가능성 검토	업 관리제도의 사회적 영향을 분석함	잡성, 모형 구축 등 개선 필요
4	• (과제명) Optimal fish densities and farm locations in Norweign fjords: a framework to use a PSO algorithm to optimize an agent-based model to stimulate fish disease dynamics • (연구자(년도)) Alaliyat, Y., & Davidsen(2019) • (연구 목적) 질병 확산을 최소화하고 높은 생산력을 유지할 수 있는 최적의 어류 밀도 및 양식장 위치 선정	• 행위자기반모형 소프트웨어 (NetLogo)를 이용하여, 양식장 간의 어류-질병 역학을 분석 • 입자 군집 최적화(PSO) 알고리즘을 이용해 최적의 어류 밀도 및 양식장 위치를 선정함	• 행위자기반모형의 최적 매개변숫값을 찾기 위한 PSO 알고리즘의 사용은 양식업 관리 측면에서 적합한 새로운 방법으로 보임 • GA와 같은 다른 알고리즘을 적용하여 결과를 비교하여 검증할 필요가 있음
5	• (과제명) An agent-based model to address coastal management issues in the Yucatan Peninsula, Mexico • (연구자(년도)) Perez et al.(2009) • (연구 목적) 멕시코, 킨타나로오 지역의 인간 활동이 산호초에 미치는 영향을 분석	• 산호초 건강에 영향을 미치는 요소들과 이들의 상호작용을 이해하기 위해 설계된 모델인 SimReef를 구축하기 위해 행위자기반모형 플랫폼을 적용함	• 행위자기반모형 SimReef는 다양한 요소가 산호초에 미치는 영향 분석 적합 • 산호초에 대한 오염의 영향을 나타내는 모델의 부재 및 지질과 산호초의 관계도 포함한 모델 고도화 필요
6	• (과제명) Development of an agent-based model to compare the impacts from different OWF development scenarios on Divers • (연구자(년도)) Petersen & Topping(2013) • (연구 목적) 해상풍력발전단지가 덴마크 발트해 서식하는 아비새에 미치는 누적영향평가	• 포괄적인 행위자기반모형을 구축하기 위해 패턴지향모델링(POM) 접근방식을 사용함 • 아비새 특성 및 환경요인을 반영한 행위자기반모형을 이용하여 사례지역의 해상풍력발전단지 유무에 따른 3가지 시나리오를 토대로 누적영향을 평가함	• 해상풍력발전소가 급속히 확장되는 추세이며, 주로 어류/포유류에 미치는 영향에 국한되어 있으나, 조류에 미치는 영향을 연구한 것에 의의 • 아비새의 전반적인 생물학적 정보가 부족하여 개선 필요 • 선박 이동 소음, 수중소음 등 다른 요소도 시뮬레이션 반영 필요

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
7	• (과제명) Navigating complexities: Agent-based modeling to support research, governance, and management in small-scale fisheries • (연구자(년도)) Lindkvist et al.(2020) • (연구 목적) 소규모 어업에 대한 분석에 있어 행위자기반모형의 적용 적합성을 검토함	• 소규모 어업의 지속가능한 관리 방안 및 정책 효과를 평가하기 위해, 행위자기반모형을 적용한 사례들을 검토	• 행위자기반모형은 소규모 어업의 관리 방안 및 정책 영향을 평가하기에 적합한 방법 • 소규모 어업의 데이터는 구축되어 있지 않거나 부정확함 • 데이터 수집을 통해 모델의 정확도 개선 필요함
8	• (과제명) Using stylized agent-based models for population-environment research: a case study from Galapagos Island • (연구자(년도)) Miller et al.(2010) • (연구 목적) 갈라파고스섬의 경제적 여건, 정책, 토지이용 세 변수의 상관관계를 분석하고 토지이용 분석에 행위자기반모형의 활용 가능성을 평가함	• 행위자기반모형과 토지이용변화 모델링(ILLUM)을 통합하여 정책 선택과 자연환경 상태, 경제적·생태 결정이 토지이용 변화에 미치는 영향을 분석함 • 경제성이 뛰어난 수입종 유입 시, 갈라파고스 내 토지이용 변화에 어떤 영향을 미치는지 시나리오를 토대로 분석	• 공간적으로 분포된 행위자의 운영을 기반으로 종합적 토지이용 패턴을 분석하는데 적합한 방법 • ILLUM은 사회·문화적 특징을 반영하지 않고 분석하기 때문에 후속 모델은 더 방대한 변수를 포함해야 함
9	• (과제명) Agent-based models to investigate sound impact on marine animals: bridging the gap between effects on individual behavior and population level consequences • (연구자(년도)) Mortensen et al.(2021) • (연구 목적) 인간 활동으로 인한 소음이 해양생태계에 미치는 영향을 분석하고, 수중 소음관리 제도 도입 시 고려할 사항 및 방향성을 시사	• 다양한 소음 요인이 다양한 해양생물에 미치는 영향을 연구한 사례연구 검토 • 행위자기반모형과 통합된 PCAD 모형을 적용함	• 행위자기반모형은 해양생물에 대한 수중 소음 영향 평가 및 예측 관련하여 적합한 방법론 • 생물학 특성상 종에 따라 받는 영향이 다르기 때문에 데이터 수집 측면에 어려움 있음

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
10	• (과제명) Anticipating the effects of economic displacement in Marine space with agent based models • (연구자(년도)) Nebiolo(2017) • (연구 목적) 해양무역과 운송사업에 대한 해상풍력단지 영향 분석	• 선박 이동 궤적에 대한 행위자기반모형을 이용하여 해상풍력단지로 인한 해상무역과 운송에 대한 영향을 비교 분석함 • 뉴욕과 뉴저지 항구에 위치하는 해상풍력단지를 사례분석함	• 행위자기반모형은 해상풍력으로 인한 해상경로 변경 및 혼잡 등 부차적인 영향에 대한 평가기법으로 활용 가능 • 미래 효과를 예측할 수 있는 과학적 수단은 계획가로 하여금 공간규제의 지속가능성을 평가할 수 있도록 함
11	• (과제명) Report on a red-throated diver agent-based model to assess the cumulative impact from offshore wind farms • (연구자(년도)) Topping & Petersen(2011) • (연구 목적) 해상풍력단지가 덴마크 발트해에 서식하는 아비새에 미치는 누적영향평가	• 아비새 특성 및 여러 환경요인을 반영하여 패턴지향모델링 접근방식을 도입한 포괄적인 행위자기반 모형 모델을 적용	• 해상풍력발전단지 도입·운영이 조류 서식공간패턴 및 개체 수 영향을 분석하는 데 적합하며, 해상풍력예정지에 적용하여 생태계 영향 정도 파악 가능 • 전반적인 아비새의 생물학적 정보의 부재 및 선박 소음 등과 같은 요소도 포함한 모델 고도화 필요
12	• (과제명) Practical tools to support marine spatial planning: A review and some prototype tools • (연구자(년도)) Stelzenmuller et al.(2013) • (연구 목적) 해양공간 통합정보에 기반한 시스템 프로토타입	• 선행연구 리뷰 및 워크숍 결과 등을 통하여, 개선점을 반영한 GIS 기반 프로토타입 모델을 구축하여 해양 활동 상충지역, 누적영향 및 의사결정 지원시스템 등을 평가함	• 현 tool은 영국 해역의 특정 지역을 위한 것이 많아 생태계서비스 각 서비스의 가치, 누적영향평가 결과와 같은 상세 자료들을 통합하여 나타낼 수 있는 Tool 개발 필요
13	• (과제명) Data requirements and tools to operationalize marine spatial planning in the United States • (연구자(년도)) Stamoulis & Delevaux(2015)	• 미국 내 성공적인 해양공간계획 도입·이행을 위해, 해양 자료의 수집·관리·분석·활용 방법론 및 핵심 도구 리뷰 및 도입	• 현재 개발된 tool을 활용하여 향후 발생하는 해양이용 및 상충 갈등, 악영향 최소화 등을 보다 효율적으로 관리할 수 있음 • 해양공간 통합정보에 기반한 정확성이 높은 의사

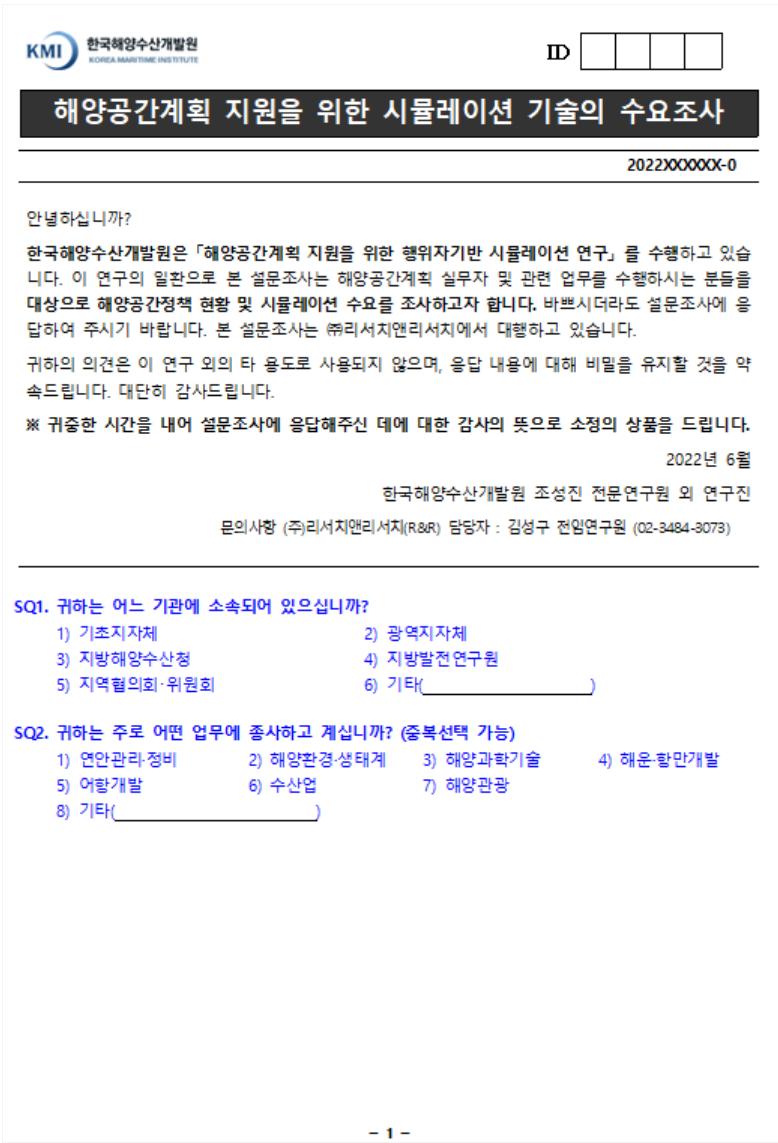
구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
	• (연구 목적) 미국 해양공간계획 도입·이행을 위해 해양 자료의 수집·관리·분석·활용 방법론 및 핵심 tool 리뷰 및 도입		결정 지원시스템 마련 및 해역별·단계별 적용할 수 있는 적절한 tool 개발 필요
14	• (과제명) Decision support tools in marine spatial planning: Present applications, gaps and future perspectives • (연구자(년도)) Pinarbasi et al.(2017) • (연구 목적) 해양공간계획에 도입된 의사결정 지원 시스템 검토 및 장단점 및 개선안 도출	• 세계 각국의 사용된 MSP-의사결정 지원시스템 38개를 토대로 의사결정 매트릭스를 구축하고 MSP 단계별 항목들을 규명하고, 현 문제점과 개선 방향 제시	• 수집된 해양공간 데이터를 기반으로 해양공간의 특성·입지·활용 가능성에 대한 의사결정을 지원하는 분석 기반으로 다양한 업무에 활용될 수 있음 • 의사결정 지원시스템은 해양의 공간적·시간적 역학을 모두 고려하고 다기능 측면에서 개선 필요
15	• (과제명) Maritime spatial planning supported by systematic site selection: Applying Marxan for offshore wind power in the Western Baltic Sea • (연구자(년도)) Goke et al.(2018) • (연구 목적) 발트해 지역의 해상풍력 입지 선정을 위한 의사결정 지원 시스템 적용 및 분석	• 생태·사회·경제적 효율성 및 목적을 달성하는 최적의 해상풍력 입지를 선정하기 위해, Marxan 모델을 적용하여 분석함 • 풍력단지 규모, 운영방식 등에 대한 4가지 시나리오를 대입하여, 시나리오별 분석하여 최적 입지 도출	• 해양보호구역 또는 해상풍력발전단지 입지 선정 및 용도구역제도 관련 분석에 있어 MARXAN 기법은 적합하며 중요 방법론으로 활용할 수 있음 • 도출된 최적지에 대해 다른 공간정보를 중첩하여 의사결정자가 보다 정성적으로 파악할 수 있도록 지원함
16	• (과제명) Web-based public decision support tool for integrated planning and management in aquaculture • (연구자(년도)) Gangnery et al.(2021) • (연구 목적) 지속가능한 개발 및 생산량을 유지할 수 있는 양식장 입지 선정 의사결정 지원 모델 구축 및 시나리오 분석	• GIS 기반의 AkvaVis 의사결정 지원시스템 모델을 적용하여 최적의 양식장 위치 도출 • 구축한 모델을 사례지역에 대입하여 적지 선정	• GIS 기반 AkvaVis 의사결정 지원시스템을 통해 공간적인 의사결정을 지원함으로 대상 해역의 양식장 적지 선정 및 지속가능한 생산량을 유지할 수 있음 • 환경의 변동과 양식생물성장 인과관계 및 상충 예방 또는 다른 복잡한 문제들을 해결할 수 있는 최적의 의사결정 지원

구 분	선행연구 현황		
	연구 목적	연구 방법	주요 연구 내용
17	• (과제명) Current status, advancements and development needs of geospatial decision support tools for marine spatial planning in European seas • (연구자(년도)) Depellegrin et al.(2021) • (연구 목적) 발트해, 지중해, 북해의 해양공간계획을 지원하는 의사결정지원시스템에 개발 방향성 제시	• MSP 의사결정 지원시스템의 개념적, 기술적, 실제적 측면을 비교하고 향후 방향성 및 개선점 제시	• 여러 시·공간 범위에서 여러 데이터를 활용하여 지도화한다는 점에서 생태계서비스 기반 공간 의사결정 지원 분야에서 높은 활용도 • 긴밀한 협력관계를 통한 의사결정지원시스템의 고도화 및 효율성 개선 필요
18	• (과제명) Knowledge integration in Marine spatial planning: A practitioners' view on decision support tools with special focus on Marxan • (연구자(년도)) Janben, Goke, & Luttmann (2019) • (연구 목적) MSP 의사결정지원 모델 리뷰 및 장단점 도출	• 해양공간관리계획 수립·이행을 위한 의사결정 지원시스템을 전문가 및 이해관계자들과의 설문조사 및 인터뷰 실시	• 의사결정 지원시스템은 공간분석을 통하여 생태계서비스 가치 변화에 따른 비용-편익 정보 제공
19	• (과제명) A computational approach to managing coupled human-enviornmental systems: the POSEIDON model of ocean fisheries • (연구자(년도)) Bailey et al. (2019) • (연구 목적) 해양 활동(수산)과 해양자원을 통합적으로 관리하기 위한 정책지원기술 분석	• 행위자기반모형을 적용한 POSEIDON 소프트웨어를 구축 후 시나리오 분석 • 베이지안 최적화를 이용하여 최적의 파라미터 도출 후 정책 의사결정과정에 반영	• 행위자기반모형 POSEIDON 소프트웨어를 통해 수산업의 다양한 현상 및 정책 분석에 적합 • 해양수산 정책에 적용하기 위해 모델링 결과 검증, 모델의 복잡성, 모형 구축 등 개선 필요

자료: 저자 작성

3. 시뮬레이션 기술 수요조사 설문지

〈부록 그림 1〉 시뮬레이션 기술 수요조사 설문지



KMI 한국해양수산개발원 KOREA MARITIME INSTITUTE

ID

해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술의 수요조사

2022XXXXXX-0

안녕하십니까?

한국해양수산개발원은 「해양공간계획 지원을 위한 행위자기반 시뮬레이션 연구」를 수행하고 있습니다. 이 연구의 일환으로 본 설문조사는 해양공간계획 실무자 및 관련 업무를 수행하시는 분들을 **대상으로 해양공간정책 현황 및 시뮬레이션 수요를 조사하고자 합니다.** 바쁘시더라도 설문조사에 응답하여 주시기 바랍니다. 본 설문조사는 ㈜리서치앤리서치에서 대행하고 있습니다.

귀하의 의견은 이 연구 외의 타 용도로 사용되지 않으며, 응답 내용에 대해 비밀을 유지할 것을 약속드립니다. 대단히 감사드립니다.

※ 귀중한 시간을 내어 설문조사에 응답해주신 데에 대한 감사의 뜻으로 소정의 상품을 드립니다.

2022년 6월

한국해양수산개발원 조성진 전문연구원 외 연구진

문의사항 (주)리서치앤리서치(R&R) 담당자 : 김성구 전임연구원 (02-3484-3073)

SQ1. 귀하는 어느 기관에 소속되어 있으십니까?

1) 기초지자체 2) 광역지자체
3) 지방해양수산청 4) 지방발전연구원
5) 지역협의회·위원회 6) 기타(_____)

SQ2. 귀하는 주로 어떤 업무에 종사하고 계십니까? (중복선택 가능)

1) 연안관리·정비 2) 해양환경·생태계 3) 해양과학기술 4) 해운·항만개발
5) 어항개발 6) 수산업 7) 해양관광
8) 기타(_____)

- 1 -

PART A. 해양공간계획 제도 관련

Q01. 해양공간계획법(2019년 시행)과 해양공간계획 제도(용도구역, 적합성협의제도 등)에 대해서 잘 알고 계십니까?

1) 전혀 그렇지 않다 2) 그렇지 않다 3) 보통이다 4) 그렇다 5) 매우 그렇다

Q02. 현재 해양공간계획 제도는 해양공간을 관리하는데 충분하다고 생각하십니까?

1) 전혀 그렇지 않다 2) 그렇지 않다 3) 보통이다 4) 그렇다 5) 매우 그렇다

Q03. 현행 해양공간계획 제도를 이행하는데 어려운 점을 아래 보기에서 세 가지 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 전담 조직 부재 및 인력 부족
2) 담당 실무자의 해양공간계획 제도에 대한 인식 부족
3) 중앙부처 및 지자체 간 협력 어려움
4) 제도 이행을 위한 예산 부족
5) 관련 법·제도 미비
6) 업무 수행을 위한 데이터 부족
7) 이해관계자 합의 도출 어려움
8) 관련 민원 발생
9) 기타(_____)

Q04. 해양공간계획 제도의 실효적 이행을 위한 개선사항을 아래 보기에서 세 가지 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 전담 조직 및 인력 보충
2) 담당 실무자의 해양공간계획 제도 교육
3) 중앙부처 및 지자체 간 협력 노력
4) 예산 확보
5) 관련 법·제도 개선
6) 업무 수행을 위한 데이터 확보
7) 이해관계자 수용력 강화
8) 민원 응대 매뉴얼 제공
9) 기타(_____)

Q05. 해양공간계획 제도의 장기적인 비전을 아래 보기에서 세 가지를 선택하세요.

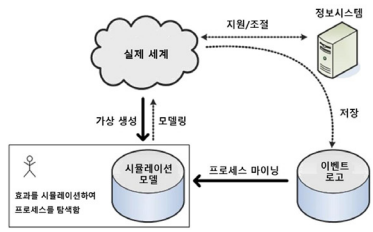
1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 중앙정부와 기초광역단체 간 역할 명확화
2) 해양공간 용도구역 선정 및 이해관계자와 조율 시 효율적 업무 수행 가능
3) 해양환경 및 생태계 보호
4) 해양 경제 및 산업 활성화
5) 수산 및 어업의 생산성 증대
6) 자연재해 및 재난으로부터 해양 안전성 확보
7) 기타( )

해양공간 정책시뮬레이션에 대한 설명

[참고] 시뮬레이션 정의 및 활용

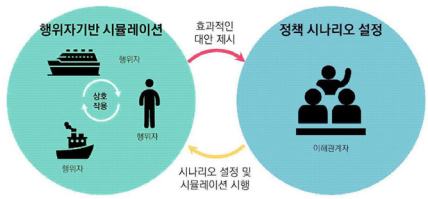
- **(정의)** 문제 해결을 위해서 실제와 유사한 상태를 모형으로 구성하여 모의적으로 반복 연산을 수행하여 그 변화양상을 파악하는 기술
- **(활용)** 정책 대안의 실현으로 인한 변화 및 효과를 사전에 예측하기 위해 수행하며, 정책환경의 변화에 적합한 새로운 지식과 정보를 산출하기 위해 활용됨



<시뮬레이션 구현의 개념도>

[참고] 해양공간정책 시뮬레이션 역할

- **(배경)** 해양공간관리계획 수립 및 집행을 위한 지역협의회 및 공청회 등 의견수렴 과정에서 정책(용도구역 등)의 효과와 영향에 대한 객관적인 자료 및 정보 부족으로 이해관계자 간 갈등이 발생하고, 따라서 정책 수용성을 확보하기 어려움
- **(역할)** 정책 대안(용도구역 설정 등)에 따른 향후 해양공간의 이용 행태 및 환경·생태계의 상태 변화를 추정하여 정책의 영향 및 효과에 대한 객관적 정보를 제공함으로써 정책에 대한 이해도와 수용성을 동시에 제고할 수 있는 과학적 수단의 개발이 시급함
- **(방법)** 해양공간정책 시뮬레이션은 용도구역 설정에 따른 시나리오를 토대로 향후 대상 해역의 인문·자연 환경을 설정하고, 해양공간의 다양한 이용행위(어업, 항행, 관광, 에너지 등)와 환경·생태계의 변화과정 및 상호작용을 모의 분석함.
- **(활용)** 정책대안 시나리오별 분석 결과를 사회·경제, 환경·생태계 영역의 대표 지표로 산출하여 정책 대안의 효과를 손쉽게 비교·분석하고, 최적 대안을 선택하도록 지원함.



<시뮬레이션의 역할과 기능>

PART B. 해양공간 정책시뮬레이션 관련

Q06. 시뮬레이션 기술에 대해서 잘 알고 계십니까?

1) 전혀 그렇지 않다 2) 그렇지 않다 3) 보통이다 4) 그렇다 5) 매우 그렇다

Q07. 해양공간계획의 수립 및 이행 과정에서 시뮬레이션 기술이 필요하다고 생각하십니까?

1) 전혀 그렇지 않다 2) 그렇지 않다 3) 보통이다 4) 그렇다 5) 매우 그렇다

Q08. 해양공간계획 제도에 있어 시뮬레이션의 역할에 대해 아래 보기에서 세 가지를 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 제도에 대한 인식 증진
2) 이해관계자 갈등 예방 및 해소
3) 업무 수행을 위한 데이터 제공
4) 구체적인 정책 대안에 대한 수용성 확보
5) 효과 추정을 통한 정책의 불확실성 해소
6) 해양 이용 간 상충 조정으로 인한 안전사고 예방
7) 기타( )

Q09. 해양공간계획 제도에서 시뮬레이션의 활용 분야에 대해 아래 보기에서 세 가지를 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 용도구역 설정으로 인한 어업의 영향 추정
2) 해양공간계획 도입에 따른 지역경제의 영향 예측
3) 해양공간계획에 따른 해양환경 및 생태계 변화 분석
4) 용도구역 지정으로 인한 해양 안전사고 예방 효과
5) 미래 기후변화 및 재난재해에 따른 해양환경 영향 분석
6) 코로나 등 전염병으로 인한 지역별 해양관광의 영향 평가
7) 수산자원관리정책(TAC 등)에 따른 어업의 영향 분석
8) 기타( )

Q10. 해양공간계획 활용에 있어서 시뮬레이션의 제약요인을 아래 보기에서 세 가지를 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 시뮬레이션 결과의 정확도 및 신뢰도 문제
2) 시뮬레이션의 낮은 기술 수준
3) 시뮬레이션 기술의 제한된 활용 분야
4) 시뮬레이션 기술에 대한 낮은 이해도
5) 실무에 있어서 시뮬레이션 결과의 활용 어려움
6) 인공지능, 디지털 트윈, 메타버스 등 최신기술과의 연계 부족
7) 시뮬레이션 분석을 위한 입력 데이터 부족
8) 기타( )

Q11. 해양공간계획 활용에 있어서 시뮬레이션의 개선사항을 아래 보기에서 세 가지를 선택하세요.

1순위 ( ) 2순위 ( ) 3순위 ( )

1) 시뮬레이션 결과의 정확도 및 신뢰도 향상
2) 시뮬레이션 기술의 고도화
3) 시뮬레이션 활용 분야 확대
4) 시뮬레이션의 보편화를 위한 기술 교육
5) 시뮬레이션 결과의 활용을 위한 지표 개발
6) 인공지능, 디지털 트윈, 메타버스 등 최신기술과의 융합
7) 시뮬레이션 분석을 위한 데이터 확보
8) 기타( )

PART C. 응답자 특성 문항

DQ1. 귀하의 성별은 무엇입니까?

1) 남성 2) 여성

DQ2. 귀하의 연령대는 어떻게 되십니까?

1) 20대 이하 2) 30대 3) 40대 4) 50대 5) 60대 이상

DQ3. 귀하는 해당 업무에 얼마나 종사하고 계십니까?

1) 5년 미만 2) 5~10년 미만 3) 10~20년 미만 4) 20~30년 미만 5) 30년 이상

DQ4. 설문조사에 응답해주신 것에 감사의 뜻으로 3만원 상당의 기프트를 보내드리려합니다. 기프트를 받으실 휴대폰 번호를 적어주시기바랍니다.

◈ 설문에 응답해 주셔서 감사합니다 ◈

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 2022-09

행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 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 갭스앤디 컴퍼니 (051-911-9890)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337
정가 15,000원