

해양공간계획 이행을 위한 행위자기반 시뮬레이션 활용방안 연구[†]

-정책 현안 및 기술 수요 분석을 중심으로-

A Study on the Application of Agent-Based Simulation in Marine Spatial Planning

- Focused on Analysis of Policy Issues and Technical Demands -

조성진*·최희정**·임종서***·이혜영***·김선미***

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

목 차

- I. 서 론
- II. 이론 및 동향
- III. 정책 현안 및 기술 활용
- IV. 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 적용 방안
- V. 요약 및 결론

Abstract: Amid a number of uncertainties of the future, such as climate change and international trade conflicts, as well as possible disagreements over policy implementation, there is a need for support tools to predict various conflict factors and improve the understanding and acceptance of policy alternatives among stakeholders. Under this circumstance, this research identified the current status and issues of the MSP (marine spatial planning) system to define the need and role of simulation technology for the development of an agent-based simulation that can pre-evaluate the impact and effect of ocean space policy at a micro-level. Through a technology trend analysis and a demand survey, this study identifies the applicability

† 본 논문은 한국해양수산개발원에서 발간한 「행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구(2022년)」의 일부 내용을 수정·보완하여 작성하였음

* 제1저자·교신저자, 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원, sjcho@kmi.re.kr

** 공동저자, 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구위원

*** 공동저자, 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원

of agent-based modeling and its application areas (such as fisheries, economy, and environment) as well as technological requirements for the MSP system. The result of the MSP system review filled the gap in knowledge of how simulation technologies can meet the needs and roles within the MSP system by producing strategic information for planning. The role and development direction of the technology derived from this study provides a guideline for the practical design of an agent-based MSP simulation, such as the specific scope of application and components. Lastly, the research results led to the proposal of a development roadmap for MSP simulation and the establishment of a tangible utilization plan that can be efficiently implemented in MSP.

Key words: Agent-Based Simulation, Marine Spatial Planning, Policy Issues, Demand Survey

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

해양공간계획(Marine Spatial Planning, 이하 MSP)은 해양공간의 통합계획 체제로, 해양공간 이용이 복잡해짐에 따라 유럽의 연안 국가를 중심으로 해양공간의 통합 관리를 위한 정책 수단으로 활용하고 있다. 우리나라는 2018년 「해양공간계획 및 관리에 관한 법률」(이하 ‘해양공간계획법’)을 제정하여 「제1차 해양공간기본계획(2019~2028)」을 수립하고, 이를 바탕으로 11개 연안 광역지자체의 해양용도구역 지정·관리 방향 등을 포함한 해양공간관리계획을 2022년 6월에 모두 수립·완료하였다.¹⁾

현재 우리나라는 MSP 이행 측면에서 활용할 수 있는 자료가 제한적이기 때문에 관리 계획 수립 시점의 해양공간 이용 현황을 기반으로 용도구역을 지정하고 있다. 이는 미래

1) 해양공간통합관리정보시스템 (검색일: 2023.4.27.)

이용·개발 수요를 반영하지 못하므로 해양공간에서 발생할 수 있는 잠재적 갈등 요소를 사전에 탐색하여 예방하는 데 제도적 한계점을 가지고 있다. 또한, 용도구역 설정으로 인한 해양 생태계·환경의 변화, 개발·이용행위에 대한 효과와 향후 영향을 판단할 수 있는 객관적 근거가 부족하여, 배타적 특성의 용도구역 대안에 대해 이해 당사자를 설득하기 어려운 상황이다.²⁾ 따라서 MSP 이행에 따른 미래 해양 환경 변화 및 이용행위의 영향을 진단하여 제도에 대한 이해와 인식을 개선하고, 향후 갈등 요소를 예방할 수 있는 과학적 수단이 필요한 시점이다.

해양자원 이용 및 갈등이 증폭되면서 정책평가에 있어서 개별 요소에 대한 영향뿐만 아니라 요소 간 상호작용에 대한 미시적 분석의 필요성이 증대되고 있다.³⁾ 국내외 다양한 정책 분야에서 시뮬레이션 기술을 활용한 효과 예측 및 대안 평가 연구가 진행되고 있다. 해양공간은 물리적 경계가 없으며 자연과 인문 요소가 유기적으로 연결되어 있어서 해양정책의 효과를 파악하기 어렵다. 특히, MSP는 해양환경·생태계, 수산, 항만, 해운, 관광 등 다양한 분야에 영향을 미치며, 복잡한 이해관계로 인해 종합적인 검토가 필요하다. 따라서 MSP의 실효적 이행을 위해서 시뮬레이션 기술을 이용한 과학적 정책지원 수단이 요구된다.

이러한 배경에서 본 연구는 MSP 이행을 지원하기 위해서 문헌조사, 동향 분석, 전문가 자문, 설문조사 등을 통해서 시뮬레이션 기술의 적용 가능성을 살펴보고, 향후 활용 방안에 대해 논의하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 구성

본 연구는 MSP 이행을 위한 과학적 정책지원 수단으로써 시뮬레이션 기술의 필요성을 논의하고, 시뮬레이션 방법론으로 행위자기반모형(Agent Based Model, 이하 ABM)의 적절성과 적용 가능성을 진단하고자 한다. 이를 위해서 먼저 MSP 현황 분석 및 전문가 자문을 통해 정책 현안 및 시뮬레이션 활용의 필요성에 대해 고찰하였다. 둘째, 이론적 배경 및 동향 조사 결과를 기초로 MSP 시뮬레이션으로써 ABM의 적절성, 개발 및 활용

2) 최희정 외(2021), pp. 176-185.

3) 조성진 외(2021), pp. 1689-1690.

을 위한 고려사항을 도출하였다. 셋째로, 설문조사와 전문가 의견을 통해서 시뮬레이션의 개발과 활용 방안을 도출하고, 시뮬레이션의 적용 범위와 구성요소를 중심으로 시뮬레이션의 설계 방향에 대해 제안하였다. 마지막으로, 연구 결과를 토대로 향후 연구를 위한 MSP 시뮬레이션의 개발 로드맵과 활용 방안에 대해 논의하였다.

서론에 이어서 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장은 해양공간계획의 개요와 현황, ABM의 이론적 배경과 적용 사례를 중심으로 구성되었다. 3장은 해양공간계획 이행 현안과 시뮬레이션 기술의 적용 가능성, 시뮬레이션 기술의 수요 및 요구사항에 대한 설문조사 결과를 포함한다. 4장은 해양공간계획 시뮬레이션 설계 방향과 로드맵, 활용체계에 대해서 제시하고, 마지막 5장은 연구 내용의 요약과 향후 연구 내용에 대해 서술하였다.

II. 이론 및 동향

1. 해양공간계획 개요 및 현황

1) 정책 개요

우리나라 해양공간계획은 전 해역을 대상으로 하는 법정계획으로 해양공간의 통합적·장기적 관리 방향을 결정하는 “해양공간기본계획”과 해양공간을 용도별로 구획하여 해양 이용자의 활동을 관리하는 “해양공간관리계획”으로 이루어진다. 해양공간기본계획은 권역별 및 지역별 현황, 현안, 여건을 고려하여 통합적이고 계획적인 해양공간관리를 위한 정책 방향을 제시하며, 해양공간관리계획은 기본계획에 명시된 정책 방향에 근거해 해양공간 자원의 효율적 배분 및 관리를 위한 구체적인 사항을 결정한다.⁴⁾ 따라서 MSP는 해양공간자원의 합리적이고 지속가능한 이용을 위해 해양공간의 이용 현황 및 수율을 포함한 특성을 고려하여 사전에 해양공간자원을 배분함으로써 체계적인 정책 의사결정을 제도화하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 과학 정보 및 데이터, 참여 거버넌스 기반의 정책 의사결정을 중심으로 하여 합리적인 해양공간의 배분 및 관리를 추진하고

4) 해양공간계획법 제5조(해양공간기본계획의 수립 등), 제7조(해양공간관리계획의 수립 등)

있다.

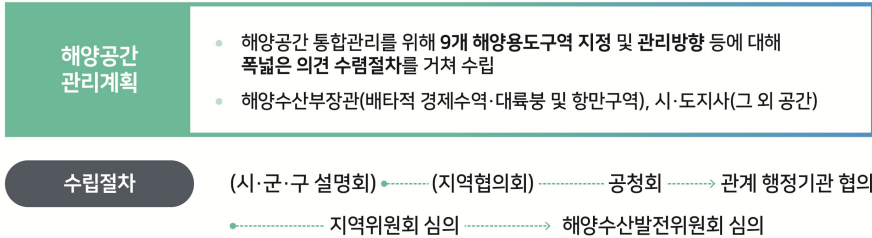
해양공간관리계획은 해양공간의 합리적이고 지속가능한 이용을 위해 과학적 평가 수단을 이용하여 다양한 이해관계자들의 수용성 확보를 목적으로 한다. 이를 위해 객관적·정량적 평가 기준을 적용하여 해양용도구역을 설정하였다. 해양용도구역은 어업활동보호구역, 골재·광물자원개발구역, 에너지개발구역, 해양관광구역 등 9가지로 구분되며, 용도구역 지정을 위해서는 해양공간특성평가를 수행해야한다. 해양공간특성평가는 계획 수립 대상 해역의 공간적 특성과 입지 및 이용 수요 등을 종합적으로 고려하여 해양자원의 가치, 해양환경 및 생태계의 특성, 해양공간의 이용 및 개발 현황, 미래 활용 수요 등에 대한 진단을 실시한다.⁵⁾

해양공간특성평가는 해양 공간정보를 GIS 소프트웨어를 이용하여 격자단위로 분석하여 해양공간을 등급화하고 식별하는 절차로, 공간구조 파악 및 기능 배분, 기초자료 제공을 목적으로 한다. 자료 수집, 자료 가용성 및 신뢰도 검토, 분석 자료 선정, 자료 가공 과정을 거치며, 수산, 골재·광물, 에너지, 관광 등 관련 자원 분포와 활동 데이터, 그리고 어항구역, 해양보호구역, 해수욕장 등 법정구역에 대한 데이터를 주로 활용한다.

해양용도구역은 9개 유형의 활동 밀집도와 우선순위에 따라 지정되며, 향후 해양공간의 이용 및 개발 수요가 발생하는 경우 활동을 관리하는 기준이 된다. 현재 지정된 해양용도구역은 대부분 해양 이용이 활발하게 이루어지고 있는 지역과 개별법에 따른 지역이다. 해양수산 자원 정보는 제한적이어서 이 풍부하게 분포하는 지역의 경우 개괄적인 정보만을 제공하고 있어 해양공간 이용을 위한 입지 및 미래 수요를 파악하는 데 어려움이 있다. 우리나라는 해양용도구역과 함께 해양공간관리수단이 해양공간적합성협의 제도를 운영하고 있다. 해양의 이용·개발 계획을 수립할 경우, 해양공간적합성협의를 통해 해양수산부장관과 사전 협의하여야 하며, 이에 따라 해양공간계획과의 부합 여부, 입지 적절성, 다른 활동에 대한 영향 등을 평가하게 된다.

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

Ⅱ 그림-1. 해양공간관리계획의 개요 및 수립 절차 Ⅱ



자료: 조성진 외(2022), p. 28 (그림 2-3)

2) 추진 현황

우리나라는 2022년까지 연안 광역지자체의 해양공간관리계획을 수립하였고, 이를 기반으로 해양공간관리정책을 효과적으로 이행하고자 노력하고 있다. 이를 위해 해양공간계획 이행을 위한 거버넌스를 운영하고, 해양용도구역의 핵심 활동을 유지·관리하기 위해서 다양한 조치를 시행하고 있다.

해양공간관리계획의 이행은 정부와 지자체가 해양용도구역과 그에 관한 관리 사항을 규율하는 것과 추진 내용을 점검하는 것이다. 이를 위해서 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하는 등 협의와 조정 과정을 거쳐야 하며, 이용 및 개발이 인접 지자체의 관할해역에 영향을 미치는 경우에 사전 평가하여 조율할 수 있도록 객관적인 정보와 근거가 마련되어야 한다. 지난 5년간 우리나라의 해양공간계획 제도를 추진하는 과정에서 지자체 담당자와 전문가를 통해 해양용도구역의 지정 및 변경 시에 미래 수요, 신규 활동과 기존 활동 간 상호작용, 사회·경제적 혜택 등과 관련한 여러 요소를 고려해야 한다는 사실이 강조되어 왔으나, 가용한 정보 및 근거 부족으로 이를 모두 고려하는 데 한계가 있다.

향후 해양공간계획 이행 과정에서 해양 공간이 변화함에 따라 기존 용도구역의 유지와 관련한 여러 현안이 발생할 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 합리적인 정책의사결정을 지원할 수 있는 과학적인 분석 기술과 정보가 마련되어야 한다. 해양공간계획의 실효적 이행을 위해서 지자체와 담당기관의 역할이 중요하며, 이를 위해서는 다양한 분석도구의 활용이 필수적이다. 현재 지자체의 해양공간관리 역량이 부족하여 이행이 어렵다는 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위해서는 관련 지자체 담당자와 이용자들이 해양공간의 특성을 파악하고 분석할 수 있는 기술이 필요하다. 과학적 정책지원 수단의 개발과

활용을 통해 정부와 지자체의 의사결정을 지원하는 것이 필요하며, 이를 통해 정책의 실효성과 계획의 집행력을 강화할 수 있을 것이다.

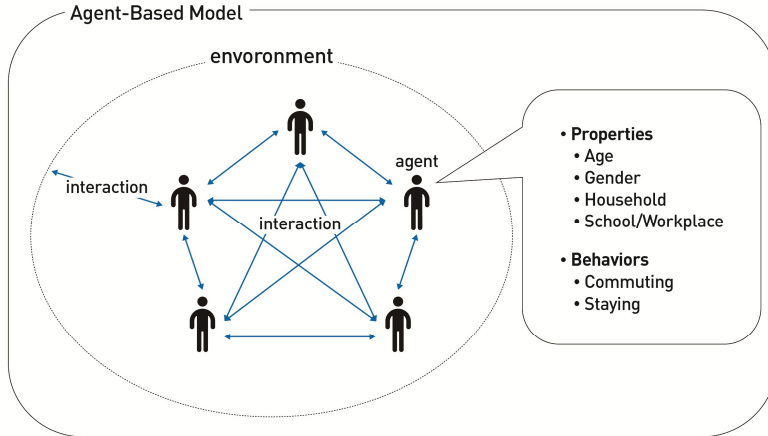
2. 행위자기반모형 이론 및 적용 사례

1) 이론적 배경 및 방법론적 특징

시뮬레이션 방법론은 모델을 이용하여 시간순으로 현상을 모의하는 것으로, 기계, 화학 등 미시적인 현상 및 사회·경제와 같은 비교적 거시적인 현상 등 대상의 규모와 무관하게 특정 조건의 변화가 복잡한 상호작용을 거쳐 어떤 결과를 야기하는지 진단하는 것을 목적으로 한다. 이 연구의 대상인 해양공간정책을 예로 시뮬레이션을 수행한다면, 먼저 다양한 인간활동과 환경·생태계가 상호작용하는 현재의 상태를 어느 정도 현실적인 형태로 요약한 모델을 구축한다. 이후 모델을 구성하는 일부 요소를 기존과 다르게 직접 수정하거나 정책 및 규제 등 간접적으로 영향을 주는 요소를 추가하여 모델이 모의하는 상태가 어떻게 변화하는지 분석함으로써 해양공간정책의 효과를 예상할 수 있다.

시뮬레이션 방법론 가운데 ABM은 행위자(agents)와 환경(environment)으로 구성되며, 핵심 구성요소인 행위자는 특성과 행위로 정의되며, 시뮬레이션 운영을 통해 영향을 받는다. 행위자는 시간의 흐름에 따라 사전에 정의해둔 의사결정 규칙에 따라 다른 행위자 및 환경의 상호작용을 통해 다양한 행위를 수행한다. 일반적으로 if-then-else 구조로 정의하는 상호작용 규칙은 학습과 적응을 통해 진화할 수 있으며, 각 행위자에게 다른 방식으로 적용될 수도 있다(Crooks et al., 2018).

■ 그림-2. ABM의 구성요소 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 70 (그림 3-1)

일반적으로 시뮬레이션은 시스템에 투입되는 외생변수(독립변수)와 시스템의 상태를 나타내는 상태변수, 그리고 시스템에서 산출되는 내생변수(종속변수)로 구성되는 수학적 모형(analytical model)을 이용한다. 일반적으로 분석적 모형은 시스템의 구성요소 및 상태가 단순한 경우에 현상의 속성을 설명하는 데 유용하지만, 구성요소 간 상호작용 방식이 복잡하고, 비선형적이며, 불연속적인 경우에 적용하기 어렵다는 한계점이 있다. 한편, ABM은 개별 행위와 상호작용을 함께 모델링하여 시공간 차원에서 동적으로 비선형적 패턴을 재현하며, 여러 활동과 환경·생태계의 특성을 잘 반영한다(한규현, 2007). 기존 시뮬레이션 방법과 달리 ABM은 행위자의 활동 방식과 목적, 행위자 간 상호작용 규칙을 사전에 정의하여 모델링하므로, 인간의 활동이나 상호작용이 발생하는 복잡한 사회 현상을 규명하는 데 적합하다. 또한 분석적 모형은 전체 시스템과 시스템 구성요소를 각각 변수로써 구분하여 분석하는 반면에, ABM은 동시에 고려함으로써 시스템과 구성요소 간의 영향 관계 혹은 상호작용을 규명하여 현상을 더욱 현실적으로 분석할 수 있다(이상엽·이기현, 2015). ABM의 또 다른 방법론적 특징으로 동일한 모형을 적용한 경우에도 분석 결과가 매번 다르게 나타날 수 있다. 이는 모형의 환경에 위치하는 행위자가 일정한 활동 규칙을 따르지만 다소 무작위적으로 행동하고, 전후에 주변 환경과 다른 행위자와 특정 방식의 상호작용을 통해 국지적 변화를 일으키기 때문이다.

또한 미시적, 동적, 상향식 모형 등의 특성을 지닌다. 따라서 ABM은 실 세계의 개별 행위에 내재된 동기를 규칙으로서 구현하는 연역적 방법론에 속하나, 시뮬레이션 결과로 발생하는 창발적 현상이 실제 현상과 어느 정도 유사한지를 밝히는 귀납적 방법론에도 해당한다(Axelrod and Tesfatsion, 2006). ABM과 기타 시뮬레이션 기법의 차이점을 요약하면 다음과 같다(표 1).

■ 표-1. ABM과 기타 시뮬레이션 기법의 차이점 ■

구 분	ABM	기타 시뮬레이션 기법
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

2) 적용 사례 및 시사점

국내외 여러 해양수산정책 분야에서 정책 대안의 효과 및 평가를 위해서 시뮬레이션 기술을 적용하고 있다. 국내에서 금종수·장운재(2004)는 시스템 다이내믹스(System Dynamics: SD) 모형을 적용하여 해양 사고의 원인과 개선책의 요소를 추출하였으며, 수산물 가격 변화에 대한 영향을 모의한 최중두·조정희(2008)는 생물경제학적 정태적·동태적 시뮬레이션을 수행하였다. 은중호(2015)의 연구는 양식 미역 패널 추정 수급 시뮬레이션 모형을 이용하여 일본 엔화 가치 변동에 따른 양식 미역 수급의 변화를 모의하였다. 신재영·이장균·박형준(2020)은 부산항 컨테이너터미널을 통합하여 효율성을 높이는 방안 모색하기 위해 산업 시뮬레이션 소프트웨어(Rockwell Arena)를 이용하였다. 임학수(2022)는 해양환경·연안관리 분야에서 디지털 트윈 플랫폼으로 해양 스마트시티와 해양환경을 구현하여 다양한 목적의 시뮬레이션에 활용할 수 있는 패키지를 구축하였다.

국내 해양수산정책 분야의 시뮬레이션 활용 사례는 공간적 구조화에 대한 고려가 부족하고 대부분 거시적인 개념 모형이 사용되었다. 그러나 해양수산정책 수립과 해역 관리에는 공간적 구조화가 필수적이며, 이는 MSP 이행 지원을 위한 시뮬레이션 개발과

활용 시 고려해야 하는 중요한 사항이다. SimReef·CORSET(Melbourne-Thomas et al., 2011), MarPEM(Bas et al.(2017), POSEIDON(Bailey et al., 2019; Burgess et al., 2020; Lindkvist et al., 2020) 등 의사결정 지원 도구를 제안한 선행 연구들은 해양수산 정책의 효과를 사전에 진단하고, 해양생태계 및 지역사회에 대한 영향을 평가하기 위해 해양 활동에 대한 재현성을 높이는 시뮬레이션도입 필요성을 역설하였다.

육상의 경우 국토계획과 교통, 보건, 생태환경 등 다양한 분야에서 ABM을 활용한 정책 시뮬레이션의 개발 및 활용 사례가 존재한다. 대표적으로 김동한 외(2014)는 ABM을 이용하여 각종 개발정책이 행위 주체에게 미치는 영향을 모의하는 시스템을 개발하며 무분별한 고밀도·난개발의 억제 방안을 모색하였다. 전성제 외(2013; 2014)는 주거지 재생 후 원주민의 재정착률 등 주거지 재생정책의 효과를 모의한 연구를 수행하였다. 박천규 외(2020)는 금리 인상과 주택담보대출비율(LTV) 강화 정책 등 주택정책에 따른 주택구매소비자의 의사결정 변화를 모의하는 데 ABM을 활용하였다. 박수진 외(2015)는 환경정책 분야의 대표적인 ABM 활용 사례로, 환경생태 지역과 보호구역에 대한 효과적인 규제 및 관리정책을 대상으로 모의를 수행하였다.

종합하자면, 몇몇 연구들은 국내외 해양정책 분야의 주요 현안 해결을 위해 시뮬레이션의 활용성에 주목하였다. 그러나 특정 현안에 초점을 맞추지 않고 종합적인 공간관리를 지원하기 위해 범용성과 편의성을 모두 갖춘 의사결정 지원수단의 개발 사례는 제한적이다. 해양공간정책 의사결정 시뮬레이션 모형 개발 시, 중점적으로 고려해야 할 사항은 해양공간정책 의사결정의 과정과 그 결과가 미치는 영향을 재현하는 것이다. 육상 지역의 다양한 정책 분야에서 ABM을 활용한 사례는 다양한 유형의 행위자가 여타 행위자 및 환경과의 상호작용을 통해 의사결정을 수행하는 과정을 모의하는 미시적 접근이 거시적인 창발현상을 현실적으로 재현함에 있어 효과적임을 방증하였다.

부문별 접근보다 공간적·통합적 접근에 초점을 맞춘 해양공간정책의 특성상 MSP이행을 지원하기 위한 시뮬레이션 기반의 과학적 도구는 다양한 공간적 속성을 반영하고, 환경·생태계와 사회·경제적 요소를 통합한 형태로 구축하여야 한다. 연역적·수학적 접근에 기반한 여타 시뮬레이션 방법론은 정책이 시스템에 미치는 영향을 직선적으로 모의하거나 공간적 파급효과를 재현하기 어렵다는 한계점이 있다. 따라서 또한 복잡성과 불확실성 문제를 고려하여 데이터 기반의 적합한 연구 방법론을 중심으로 시뮬레이션

개발 및 활용 방안을 검토할 필요가 있다. 육상지역의 사례는 행위자기반 시뮬레이션이 해양 정책의 다양한 파급효과를 예측하고 적절한 의사결정을 유도하는 데 효과적일 수 있음을 시사하며, 이를 통해 ABM이 본 연구에 적합한 방법론임을 확인할 수 있다.

III. 정책 현안 및 기술 활용

1. 해양공간계획 시뮬레이션 수요조사

시뮬레이션 기술은 MSP의 수립과 이행 시 이해관계자 의견 수렴 과정에서 발생하는 문제를 모의하는데 유용할 것으로 판단된다. 이와 관련된 해양공간계획 관련 담당자들의 해양공간계획 제도 인식 및 기술 요구 사항을 파악하기 위해서 설문조사를 실시하였다.

1) 설문조사 개요

설문조사는 2022년 6월 중에 이메일을 통한 온라인 방식으로 실시하였다. 해양수산부, 광역지자체, 공공기관 소속 담당자를 대상으로 설문을 배포하였으며, 이 중 설문자료로 부적합한 1명을 제외한 30명의 응답을 토대로 결과를 분석하였다. 응답자는 대부분 해양공간계획 혹은 해양 관련 실무를 담당하는 광역지자체 소속 공무원이었으며, 연안 관리·정비 혹은 해양 환경·생태계 업무를 담당하는 것으로 나타났다. 조사는 해양공간계획 제도에 대한 인식과 시뮬레이션 기술의 인지도, 역할 및 활용 분야, 제약사항 등에 대한 항목을 포함하여 진행되었다. 조사 결과, 응답자들은 해양공간계획 이행 과정에서 해양공간관리 제도 인식 부족과 협의 절차의 어려움을 지적하였다.

■ 표-2. 해양공간계획 시뮬레이션 설문조사 개요 ■

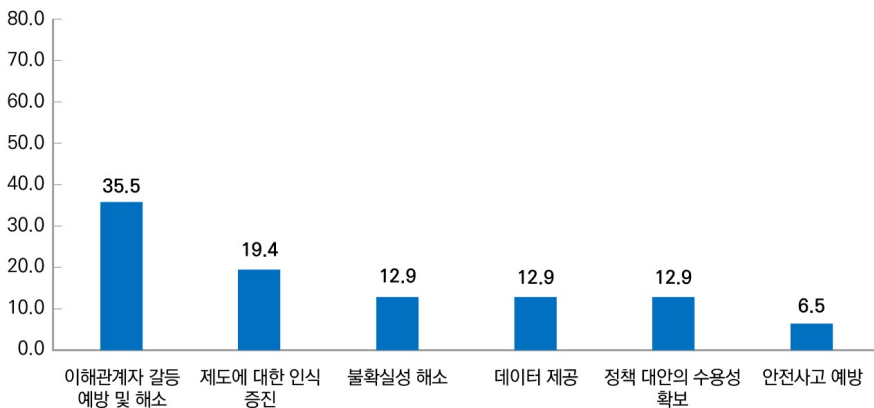
조사 대상	해양공간계획 및 해양 관련 실무 담당자
표본 수	30명
표본오차	최대 허용 표본오차 $\pm 17.60\%$ (95% 신뢰수준)
조사 방법	온라인 조사(이메일 활용)
조사 기간	2022년 6월 16일 ~ 21일

자료: 조성진 외(2022), p. 116 (표 4-1) 저자 재구성

2) 설문 주요 결과

해양공간계획 업무담당자는 시뮬레이션 기술에 대한 인식이 저조한 것으로 나타났으며, 하지만 시뮬레이션 기술의 도입에 대한 찬성은 높았다.⁶⁾ MSP 제도의 운용을 위한 시뮬레이션의 역할에 대한 조사 결과, 갈등 예방 및 해소(35.5%)가 가장 중요하게 여겨졌다. 또한 제도의 인식 증진(19.4%)도 중요하다는 인식이 있으며, 불확실성 해소(12.9%), 데이터 제공(12.9%), 정책 수용성(12.9%)에 대한 수단으로 인식되고 있음을 확인할 수 있다. 조사 결과를 통해 실무자들은 대체로 시뮬레이션 기술이 해양공간계획 지원에 필요한 것으로 인식하고 있었다.

■ 그림-3. 해양공간계획 제도에서 시뮬레이션의 역할에 관한 응답 결과 ■

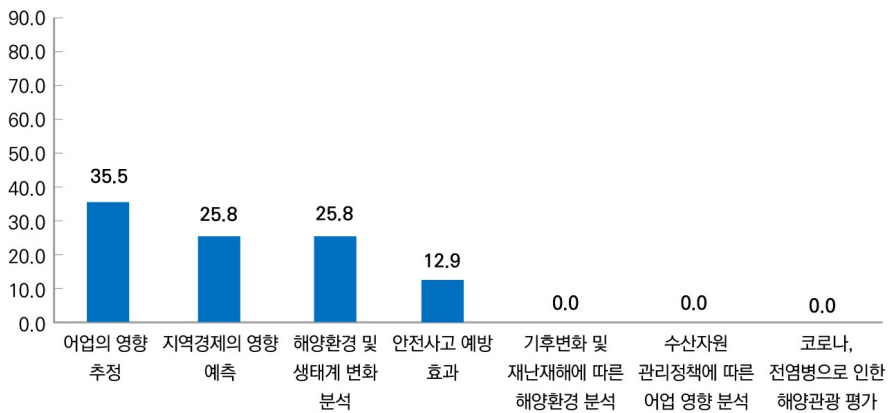


자료: 조성진 외(2022), p. 121 (그림 4-4) 저자 재구성

6) 시뮬레이션 기술의 인지도에 대해 응답자 중 83.8%가 부정 답변, 시뮬레이션 기술의 필요성에 대해 응답자 중 83.9%가 긍정 답변을 나타냄.

해양공간계획 지원을 위한 구체적인 시뮬레이션 기술의 활용 분야에 대한 조사에서는 어업의 영향(35.5%)이 높은 비율로 나타났으며, 이어서 지역경제의 영향(25.8%)과 해양 환경·생태계 변화(25.8%)가 높은 비율로 나타났다. 따라서 시뮬레이션 기술이 조업 활동과 지역 경제에 미치는 영향, 환경·생태계의 변화, 안전사고 예방 등 영역에 활용될 것으로 조사결과 나타났다.

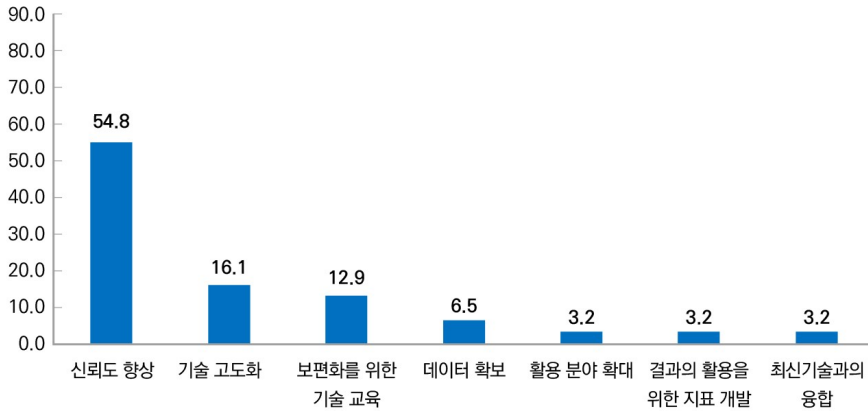
■ 그림-4. 해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션의 활용 분야에 관한 응답 결과 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 121 (그림 4-5) 저자 재구성

해양공간계획에 시뮬레이션 기술 적용 시, 결과 신뢰도 문제(51.6%)와 결과의 활용(16.1%), 데이터 한계(12.9%) 등의 제약요인이 있으며, 이를 개선하기 위해 결과 신뢰도 향상(54.8%), 기술 고도화(16.1%), 사용자 교육(12.9%) 등이 필요하다는 조사 결과가 나왔다. 이에 따라 정책적 활용을 위해서는 분석 결과의 신뢰도가 무엇보다 중요하며, 담당자가 활용하기 쉽도록 편의성에 대한 고려가 필요하다는 것을 시사한다. 또한 데이터의 가용성도 중요한 개선사항으로 지적되었다.

■ 그림-5. 시뮬레이션의 기술 적용 시 고려사항에 관한 응답 결과 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 123 (그림 4-7) 저자 재구성

2. 해양공간계획 이행 현안 및 시뮬레이션 활용 분야

1) 해양공간계획 이행 현안

먼저, 해양공간의 복잡한 특성을 이해하는데 필요한 자료와 분석 기술이 부족한 실정이다. 현재 대부분의 해양활동 정보는 해안선에 인접한 해역을 중심으로 생산·관리되고 있다. 해양활동의 범위와 강도가 다양하며, 중첩가능하고, 그 활동의 경계는 주관적이다. 실제 해양공간 이용 시에 기존 해양활동과 그 관계를 식별하는 것이 중요하다. 하지만 해양공간에서 인간 활동과 상호 작용의 관계는 아직 완전히 파악되지 않았고, 그 영향 또한 명확히 확인되지 않은 상황이다. 해양공간 이용·개발 시 다양한 해양활동이 복잡하게 얽혀있기 때문에 해양공간계획법 및 관련 법률에 따른 협의 및 인허가 등이 요구된다. 이 과정에서 해양용도구역 내 특정 활동이 기존 용도구역 지정 목적을 달성하는데 도움이 되는지 혹은 인간 활동과 바다의 상호작용과 영향을 미치는지에 대한 정보가 필요한데 제한된 정보로 과학적 의사결정이 어려운 실정이다.

둘째, 지난 관리계획 수립 과정에서 용도구역 지정 등에 대한 다양한 이해관계자들의 미래 수요를 고려한 해양용도구역 지정 요구가 있었으나, 관련 자료와 분석 기술의

한계로 요구 사항 검토에 제약이 있었다. 해양공간계획 수립 시에 계획 수립 시점의 가용한 정보에 의존할 수 밖에 없는 상황으로 미래 수요를 검토하기엔 어려웠다. 경북 사례의 경우, 활동 간 상충이 있는 공간 즉 해양 포유류 서식 공간과 어로 활동 공간의 조정 요구가 있었으나 개별 활동 간 상충 수준에 대한 데이터 부족과 분석의 어려움으로 현 제도적·과학적 여건으로는 이 논의를 구체화하는 데 한계가 있었다.⁷⁾ 국내 해양공간 계획법은 해양용도구역을 정하는 과정에서 지역협의회, 지역위원회, 관계 행정기관 협의, 해양수산발전위원회 심의 등 다양한 논의의 장을 운영하도록 하였다. 그러나 이 과정에서 나타나는 개별 이해관계자의 요구 사항을 공간적으로 확인할 수 있는 시각화 도구가 필요하지만, 계획 과정에서 이러한 도구를 활용한 사례가 없었다.

셋째, MSP 이행 과정에서 용도구역을 조정이 필요한 경우에 인간 활동(혹은 특성 사업·계획)에 따른 해양의 변화와 영향을 사전 평가할 수 있는 과학적 수단이 부재하므로 용도구역에 따른 효과와 영향을 예측할 수 없다. MSP 업무를 담당하는 공무원 및 관련 분야의 전문가를 대상으로 한 설문조사에서는 과학적 수단 활용과 갈등 조율이 개선사항으로 제시되었다.⁸⁾ 따라서 MSP 이행을 지원하기 위해서 미래의 해양 환경 변화 이용 행위의 패턴을 예측할 수 있는 과학적 수단이 필요하다.

2) 해양공간계획 시뮬레이션 활용 분야

해양공간계획 시 이해관계자의 참여와 이들 간에 발생할 수 있는 잠재적 갈등 요소를 진단하고 예방할 수 있는 정책적 메커니즘이 중요하다. 이해관계자 간 해양활동의 이해도와 수용성의 차이를 해소할 수 있도록 시각화와 시나리오 분석 도구의 활용이 필요하다. 시뮬레이션 기술을 통해서 객관적 근거와 투명한 절차 안에서 갈등을 확인하고, 예방할 것으로 기대한다. 앞서 정책 현안을 토대로 MSP 수립 및 이행에서 시뮬레이션 기술의 활용 가능성에 대해서 논의하고자 한다.

7) 경상북도·해양수산부(2022)

8) 최희정 외(2021), pp. 158-172.

(1) 시뮬레이션 기능과 역할

시뮬레이션 기술은 해양공간정책에서 갈등 조정과 공간 분배 결정에 활용될 수 있으며, 시나리오 분석 도구로 개별 이해관계자의 가치를 재현하고, 공간적으로 파악할 수 있는 시각화 도구로 활용될 수 있다. 구체적으로 해양공간계획 이행과정에서 시뮬레이션의 기능과 역할은 다음과 같다.

시뮬레이션은 시스템 내부에서 활동하는 행위자들의 상호작용을 모델링하여 시스템 변화 과정을 모의한다. MSP는 전체 해양생태계와 해양활동을 이해하고 이 과정에서 갈등을 최소화하고 기존 활동을 유지·증진을 위한 합리적 대안을 찾는 방식으로 발전하고 있다. 시뮬레이션 기술(시나리오 기반의 평가와 예측 모델링 기술)을 적용해 해양공간정책의 영향을 동적으로 파악할 수 있다. 또한 해양 활동 간 상호작용과 인과관계, 누적 효과에 대한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션 기술을 활용하여 전략적 정보를 얻을 수 있다.

시뮬레이션 기술은 계획 및 의사결정을 위한 의사소통 및 학습 도구로 개발 가능하다. 이를 통해 계획수립권자와 이해관계자는 다양한 활동 간 동적 상호관계, 행위자 간의 상호 의존성, 미래의 해양 활동의 결과를 경험적으로 이해하게 된다. MSP Challenge는 이러한 해양공간계획 시뮬레이션의 예시 중 하나이다.⁹⁾ 시뮬레이션은 정책 대안을 사전에 모의하고, 그 결과를 논의하는 참여 및 소통의 장을 제공하고, ‘실행에 의한 학습’을 유도하여 이해관계자에게 유익한 정보를 제공한다. MSP는 해양의 지속가능한 발전을 위해 여러 가능성을 고려해야 하므로 시뮬레이션 기술이 유용하게 사용될 수 있다.

(2) MSP 내 시뮬레이션 활용 분야

MSP 수립과 이행과정에서 다양한 이해관계자의 의견을 반영하면서, 인간 활동과 바다의 상호작용과 영향을 확인할 수 있는 데이터와 기술이 부재한 상황에서 시뮬레이션 기술은 유용할 것으로 판단한다. 시뮬레이션을 이용하여 기술적 정보를 기초로 통합·전략 정보를 생산하고, 모의 결과를 이용하여 이해관계자 갈등 조정과 과학적 해석을 위한 참고 자료를 제공하는 등의 역할을 수행할 수 있다. 이 기술은 미래 갈등 예방 및 해소를 위한 과학적 도구로 사용될 수 있다. 따라서 시뮬레이션 기술을 효율적으로 활용하기 위

9) MSP Challenge (검색일: 2022.6.20.)

해 구체적인 요구사항과 기능을 도출하고, 모형의 설계 및 개발 방안을 검토하는 것이 필요하다.

해양공간계획과 관련한 시뮬레이션 활용 분야는 다음과 같다.

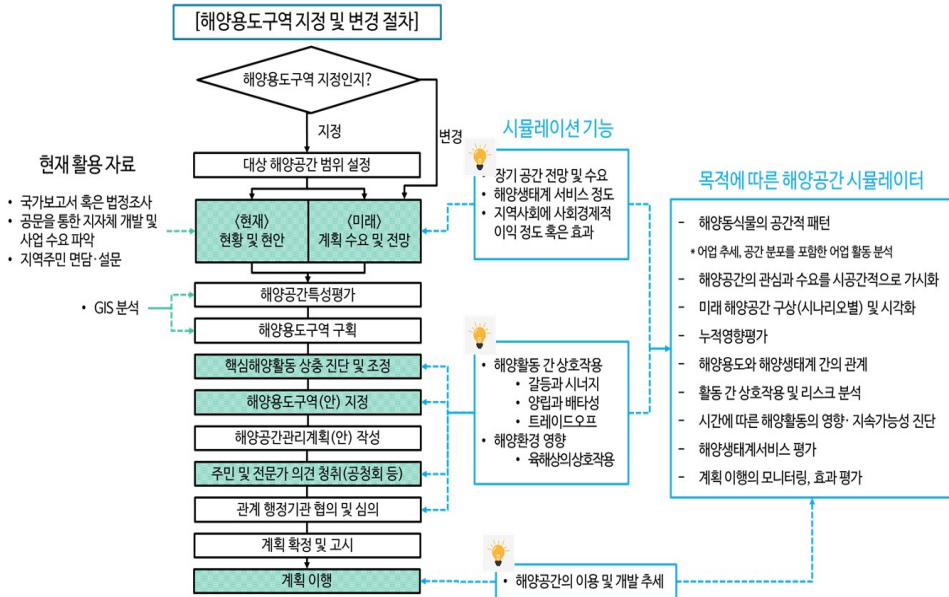
첫째, 해양공간의 이용행위와 환경·생태계 변화 과정을 파악하기 위해 시뮬레이션 기술을 활용할 수 있다. 이를 통해 지자체의 관리계획 수립과 용도구역 관리를 위한 예측과 분석 업무에 시뮬레이션을 적용할 수 있다. 이를 위해서는 용도구역 지정 및 관리의 효과, 행위와 환경과의 상호작용, 시나리오 구성 등을 고려하여 이론적 근거와 충분한 자료를 확보한 후 시뮬레이션 분석을 수행하고, 분석 결과는 보고서와 지도 형식으로 제공해야 한다.

둘째, 해양공간을 이용하는 새로운 계획과 개발사업의 적합성협의 시, 시뮬레이션 기술을 활용하여 지역경제와 해양 환경·생태계 부문에 대한 영향을 평가할 수 있다. 이를 위해서는 높은 데이터 요건을 충족시켜야 하며, 해양을 이용하는 사업별 정교한 자료와 시나리오를 통해 시뮬레이션을 개발하여야 한다.

셋째, 해양공간계획의 모니터링 및 성과 평가를 지원하기 위해 시뮬레이션 기술을 활용할 수 있다. 이를 위해서는 모니터링 대상을 정의하고 시나리오를 구성하여 평가지표를 이용하여 시뮬레이션 결과를 비교 검토하고, 그 결과를 출력하여 성과평가 업무에 활용한다. 해양수산부나 지자체 담당 부서에서 실제 시뮬레이션을 수행할 수 있는 역량 개발이 필요하다.

요약하자면, 시뮬레이션 기술은 해양공간계획 체계에서 다음과 같은 역할과 기능을 기대할 수 있다. 해양용도구역 이용 현황과 미래 계획, 이용 수요 등을 예측하여 해양공간특성평가를 고도화할 수 있다. 시뮬레이션 기술을 이용하여 용도구역 간 상충 요소를 진단하고, 잠재적 갈등 요소를 파악하는 데 활용할 수 있다. 또한, 지역주민과 관련 단체에서 시뮬레이션 기술을 이용하여 정책 대안에 대한 이해를 높일 수 있다.

■ 그림-6. 해양용도구역 지정 및 관리 절차별 시뮬레이션 역할과 기능 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 60 (그림 2-12)

IV. 행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 적용 방안

1. 시뮬레이션 설계 방향

1) 적용 범위 및 방식

정책 환경의 변화에 따른 시뮬레이션 분석은 장기적으로 10, 20, 50년 등으로 분석 목적에 맞도록 적용할 수 있으며, 분석을 위한 시간 스케일은 해양 이용행위의 변동 주기와 자료 가용성을 고려하여 월(months) 단위로 지정할 수 있다. 일(days) 단위 분석은 어획량을 포함한 일부 자료의 수집이 용이하지 않으며, 장기간 시나리오의 경우에 모의 분석에 많은 연산 시간과 컴퓨팅 자원이 소모될 수 있다.

해양공간계획의 대상 범위 중 해양 활동이 주로 발생하고 비교적 자료 접근이 용이한 영해 내측으로 공간적 범위를 설정할 수 있다. 또한 시뮬레이션 공간은 일정한 크기의 격자 단위로 구획하여 공간 범위를 설정하는 래스터 방식이 적합하다. 해양 데이터는 대부분 격자 단위로 제공되는 경우가 많으며, ABM을 활용한 시뮬레이션 환경을 구축할 시 일정한 크기의 격자를 적용하는 것이 용이하다. 다만 격자의 크기가 작을수록 대상 객체의 정밀도가 향상되는 반면에 데이터의 저장용량이 커지고 연산속도가 저하될 수 있다.

해양공간계획 이행을 위한 행위자기반 시뮬레이션은 용도구역 지정에 따른 해양 이용 및 환경·생태계의 변화를 미시적 규모에서 추정하기 위한 것이다. 따라서 분석 대상은 이용행위의 공간적 범위가 명확하고, 활동의 지속성 및 유동성이 크며, 사회적인 관심이 많은 어업과 관광, 항행, 환경·생태계 관련 용도구역을 시뮬레이션의 내용적 범위로 설정할 수 있다.

2) 행위자기반모형의 구성요소

해양공간계획 시뮬레이션은 해양공간의 이용과 환경·생태계 측면에서 용도구역의 지정에 따른 영향을 분석하는 것을 목적으로 하므로 시뮬레이션 결과를 통해서 용도구역 적용과 미적용 상태를 비교하게 된다. 예를 들어, 어업활동보호구역의 경우에 대상 공간 내에서 다른 행위보다 우선하여 모델링하여 변화 과정을 모의하고, 어류 생태계와 관광, 항행 등 타활동과의 관계를 모델링하여 용도구역 지정에 따른 영향을 간접적으로 분석하게 된다. 향후 실효성 있는 정책 분석을 위해서 개별 활동 및 상호작용 모델링에 대한 정교한 이론 및 고도화된 모형을 적용할 필요성이 있다.

ABM의 행위자는 대상 시스템의 기본 구성요소이며, 시뮬레이션 환경에서 각 행위자는 목적에 따라 자율적으로 활동하고, 상황에 따라 다른 행위자 및 주변 환경과 상호작용을 수행한다. 이러한 맥락에서 본 연구에서 제안하는 ABM을 활용한 시뮬레이션은 용도구역의 정책 효과를 재현하기 위해서 각 용도구역의 이용 주체별로 행위자 그룹을 구성하는 것이 적절하다.

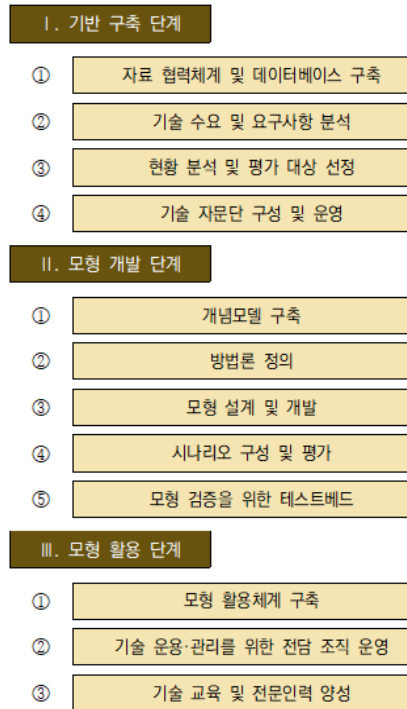
2. 시뮬레이션 개발 로드맵 및 활용체계

1) 시뮬레이션 개발 로드맵

본 연구는 해양공간계획 이행을 위한 행위자기반 시뮬레이션 기술의 적용 가능성을 평가하고, 설계 방안을 도출하고자 정책 현안과 기술 요구사항을 분석하였다. 이를 토대로 해양공간계획 실무에 적용 가능한 로드맵을 제시하였으며, 기반 구축, 모델개발, 모델 활용 단계로 구성되어 있으며, 각 단계마다 구체적인 수행 방안을 제시하였다.

먼저 기반 구축 단계는 해양공간계획의 시뮬레이션 분석을 위한 자료 확보가 중요하며, 용도구역별 활동, 사회·경제 및 환경·생태계 영역의 다양한 자료를 수집하고 정제하여 데이터베이스를 구축해야 한다. 자료협력체계 구축, 데이터법 제정, 자료 표준화, 생태계 조성 등의 노력이 필요하며, PostgreSQL과 같은 오픈소스를 활용하여 데이터를 저장하고 관리할 수 있다. 다음으로 해양공간계획 시뮬레이션의 개발은 신기술에 대한 제약요인과 요구사항에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 전문가 및 실무자 대상의 수요조사를 통해 기술의 필요성, 역할, 활용 분야 등을 파악하고, 기능적 및 성능 요구사항을 도출하여 시뮬레이션의 구현 기능과 모의 결과의 신뢰수준을 설계해야 한다. 또한, 실제 업무환경에서 예상되는 어려움과 개선 방안에 대한 의견을 수렴하여 모형 개발 및 활용 방안을 수립해야 한다. 아울러 해양공간계획 시뮬레이션의 적용 대상 정책과 관련된 현황을 파악하고 평가 대상을 선정하는 과정이 필요하다. 전문가, 부처 및 지자체 담당자를 대상으로 자문 및 인터뷰를 통해 구체적인 현안을 파악하고 모형의 타당성과 활용 가능성을 평가하기 위한 대상을 선정한다. 이를 통해 앞으로 시뮬레이션을 개발하고 활용하는 데 필요한 정보를 수집할 수 있다. 해양공간계획 시뮬레이션 기술의 설계와 개발을 위해 전문가와 사용자 그룹의 기술 자문단을 구성·운영한다. 기술 자문단은 모형의 전 단계에서 지속적으로 운영하며, 모형 개발 이후에도 지속적인 기술 보완과 고도화를 위해 상시 운영해야 한다. 전자의 그룹은 시뮬레이션 기술 분야의 전문가로 구성하고, 후자는 해양공간계획 관리 업무를 담당하는 공무원 및 이해당사자로 구성된다.

그림-7. 해양공간계획 시뮬레이션 개발·활용을 위한 로드맵



자료: 조성진 외(2022), p. 243 (그림 6-2)

시뮬레이션 개발 단계는 해양공간계획에 대한 시뮬레이션 개발을 위해 개념 모델링이 필요하다. 개념 모델링은 브레인스토밍을 통해 현상의 구성요소와 관계, 그리고 시공간 및 내용 범주를 파악한 후 인과지도¹⁰⁾와 같은 시스템 사고법을 사용하여 도면으로 작성하는 것이다. 이를 위해 용도구역 지정과 핵심 활동에 대한 개념 모델을 작성해야 한다. 모형을 개발하기 위해 구체적인 방법론을 선택하는 과정이 필요하며, 개념모델을 기반으로 모형 개발을 위한 방법론을 선별한 후 특성, 장단점, 요구사항, 산출물 등을 검토하여 최종 방법론을 선택한다. ABM을 구현하기 위해서는 ODD 프로토콜을 이용하여 모형의 목적, 이론, 구성요소 등을 정의한 후, AnyLogic, NetLogo와 같은 개발도구나

10) 인과지도(causal-loop map)는 전체 시스템을 구성하는 요소 간의 원인과 결과 관계를 순환적 피드백 구조로 나타낸 개념도

C++, Python, Java와 같은 컴퓨터 언어를 사용하여 모형을 개발한다. 다음은 시뮬레이션을 통해서 특정 상황에 대한 가능한 결과를 예측하기 위한 시나리오 분석을 수행하는 과정이다. 시나리오 준비, 환경 분석, 시나리오 작성, 결과 평가의 절차를 따르는 시나리오 분석은 대상 그룹과 시공간 범주를 설정하고, 이해당사자와 영향요인을 고려하여 시나리오 환경을 분석한다. 이어서 시나리오 동인 분석, 대안 추정, 환경요인 조합을 통해 시나리오를 작성하고, 시나리오 평가를 통해 전략 수립 및 의사결정 과정에 활용한다. 시뮬레이션 모형의 타당성과 신뢰성을 검증하기 위해 다양한 환경에서의 테스트베드를 설정해야 하며, 테스트베드를 선정하기 위해서는 모형의 평가 대상을 고려해야 한다. 또한, 테스트베드를 선정하기 위해서는 해당 지역의 자료 가용성과 관련 현안 등을 고려해야 하며, 이번 연구에서는 연안 지역에 위치한 광역시·도를 대상으로 한다.

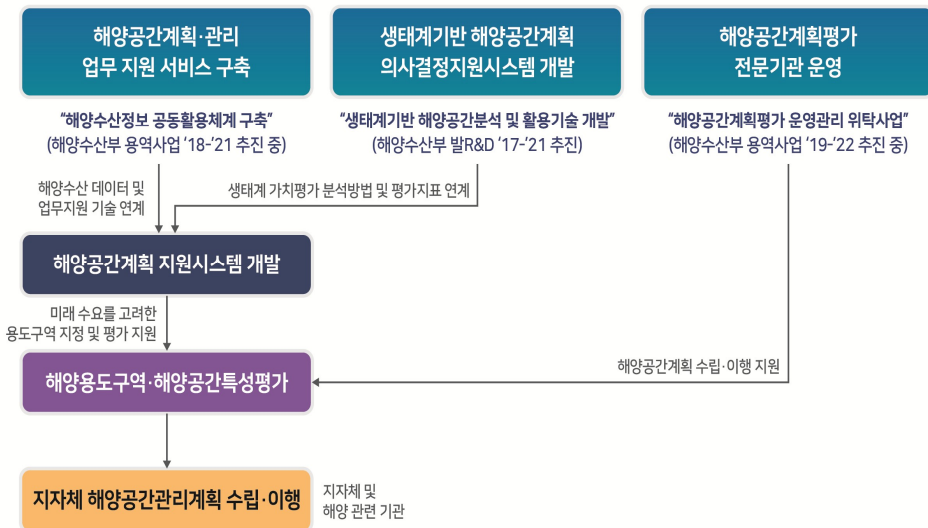
모형 활용 단계는 시뮬레이션 기술을 개발하고 운영하는 것 외에도, 정책 실무에 효과적으로 활용하기 위한 활용체계를 구축하는 것이 필요하다. 국내 전문가들은 시뮬레이션과 같은 기술이 실제 정책 활용에 있어서 데이터의 가용성 및 모형의 신뢰도 외에도 기술 난이도와 정책 실무와의 연계 가능성 등이 제약 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 해양수산부와 지지체 담당자가 시뮬레이션 기술을 정책 업무에 활용하기 위해서 관련 기술을 업무에 반영하도록 법제도를 마련해야 한다. 해양공간계획 정책 의사결정을 시뮬레이션 기술로 지원하기 위해서는 해당 기술의 지속적인 운영과 관리가 필요하다. 이를 위해 전담 조직을 설치하고 운영해야 한다. 전담 조직은 해양공간계획을 수립하고 관리하는 주무 부처인 해양수산부에서 설립하며, 관련법에 근거해 업무를 수행한다. 이 조직은 해양공간계획 수립과 해양 이용·개발 사업의 적합성 업무를 수행하는 해양공간계획·평가 전문기관으로 설립될 수 있다. 해양공간계획 시뮬레이션 기술의 사용을 위해서는 정책 실무자들에 대한 기술 교육과 전문인력 양성이 필요하며, 이를 위해 산·학·연 연계 프로그램과 대학원 강의를 활용하는 것이 중요하다.

2) 시뮬레이션 활용체계

해양공간정책의 수립·이행을 지원하기 위해 시뮬레이션 기술이 활용될 수 있으며, 시뮬레이션은 미래 해양 활동을 예측하고, 대안별 영향을 진단할 수 있는 과학적 수단으로서 역할을 수행한다. 시뮬레이션의 개발과 활용을 효율적으로 하기 위한 관련 법제도

의 준비가 필요하다. 예를 들어 관련 법령에서 MSP 과정에서 시뮬레이션 기술에서 제공하는 논의 자료를 참고하도록 규정하고, 해양수산 빅데이터플랫폼 및 자료 생산 기관에서 시뮬레이션에 필요한 자료를 협조할 수 있도록 명시해야 한다.

■ 그림-8. 해양수산부 기존 사업 및 지자체 업무 연계 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 254 (그림 6-7)

해양공간계획의 시뮬레이션 기술은 해양공간의 이용과 개발에 따른 환경 및 생태계 영향을 모의하는데 활용될 수 있다. 이를 위해 해양수산물정보 공동활용체계를 통해 관련 서비스 제공을 목표로 하고, 해양생태계 가치평가를 통해 시뮬레이션 기술과 연계할 수 있을 것으로 판단된다.

해양공간계획 시뮬레이션을 적절하게 활용하기 위해서 여러 시의성 및 신뢰도 있는 데이터가 필요하며, 이를 위해 해양수산부 및 관계 기관에서 서비스하는 데이터시스템과 연계되어야 한다. 대표적인 예로 시뮬레이션과 연계 가능한 시스템은 해양수산부에서 운영하는 해양수산물정보 공동활용체계와 국립해양조사원의 포털사이트(공유해 및 개방해 등)가 있다. 이들 데이터시스템과 연계는 해양공간계획 시뮬레이션을 통해 정책 업무의 효율성을 높임과 동시에 해양수산부 데이터시스템의 활용도를 개선할 수 있는 방안이다.

해양공간계획 지원을 위한 시뮬레이션 기술은 해양수산부 및 지자체의 업무를 직접 지원하기 위해 발전시킬 수 있으며, 이를 위해 해양공간계획 지원시스템을 구축한다. 이 시스템은 용도구역평가모듈을 포함하며, 데이터베이스, 인터페이스, 분석결과 출력 등의 기능을 제공한다. 또한, 가시화 기능, 대시보드, 요구사항 반영 기능 등을 구현하여 실시간 모니터링이 가능한 시스템을 설계하고 개발한다.

■ 그림-9. 해양공간계획 시뮬레이션 활용: 해양용도구역 관리 ■



자료: 조성진 외(2022), p. 252 (그림 6-5)

V. 요약 및 결론

본 연구는 해양공간계획의 이행 지원을 위해 행위자기반 시뮬레이션 적용 방안을 도출하기 위해서 문헌조사, 전문가 자문, 인터넷설문 등 다양한 방식으로 정책 현안 및 기술 수요 분석을 수행하였다. 먼저, 국내·외 문헌조사를 통해 해양공간계획 제도의 현안 및 시뮬레이션 적용 가능성에 대해 검토하였다. 이어서 기술 적용 사례를 검토하여 시뮬레이션 기술의 활용 분야와 개발 방식, 이용 동향을 파악하여 시뮬레이션 개발과 활용에 있어서 고려사항을 도출하였다.

해양수산부와 광역 지자체의 해양공간 관리 담당자를 대상으로 시뮬레이션의 필요성과 역할, 제약사항 등을 파악하기 위해 설문조사를 수행하였다. 조사결과, 시뮬레이션 기술의 필요성에 대해 높은 지지를 나타내었으며, 갈등 해소와 제도 인식을 중요한 역할로 인식하고 있다. 어업 영향, 지역경제, 환경 영향 순으로 시뮬레이션의 적용 분야를 제안하였다. 마지막으로, 시뮬레이션 결과의 신뢰도와 난이도를 개선하기 위한 역량강화 등을 개선사항으로 언급하였다.

해양공간계획 제도의 현안 및 시뮬레이션 요구사항 분석을 토대로 행위자기반 시뮬레이션 모형의 적용범위와 구성요소에 대한 설계 방향을 제안하고, 해양공간계획 시뮬레이션 개발을 위한 로드맵과 활용체계에 대해 논의하였다. 본 논문에서 제안한 시뮬레이션 모형의 설계 방향, 개발 로드맵 및 활용체계를 참고하여 실제 해양공간계획의 이행을 지원하기 위한 행위자기반 시뮬레이션을 개발해야 한다. 이를 통해 실제 상황을 모의하고, 해양공간계획 이행 시 효과적인 의사결정을 돕는 도구로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

투고일	2023. 05. 04
1차 심사일	2023. 06. 07
게재확정일	2023. 06. 28

■ ■ 참고문헌

1. 경상북도·해양수산부. 2022. 「경상북도 해양공간관리계획」 (2022.6.30., 해양수산부 고시 제2022-96호, 경상북도 고시 제2022-187호)
2. 금중수·장운재. 2004. 「SD법을 이용한 해양사고 예방의 정책대안 분석」. 『해양환경안전학회』, 제10권 제2호, pp. 17-22.
3. 신재영·이장균·박형준. 2020. 「시뮬레이션을 활용한 부산항 컨테이너터미널 통합운영 효과 분석」. 『한국항해항만학회지』, 제44권 제6호, pp. 477-487.
4. 은종호. 2015. 「양식 미역 패널추정 수급시뮬레이션모형을 활용한 엔화가치 변동에 따른 수급 변화 분석」. 제주대학교 대학원 박사학위 논문.
5. 임학수. 2022. 「해양스마트시티 디지털 트윈 플랫폼 시제품 개발」. 『한국연안방재학회지』, 제9권 제1호, pp. 103-111.
6. 조성진·강전영·박재영·최희정·남정호. 2021. 「해양공간 정책시뮬레이션 기술 개발·현황 및 도전과제」. 『한국해양환경·에너지학회 학술대회논문집』, pp. 1689-1690.
7. 조성진·최희정·임종서·이혜영·김선미(한국해양수산개발원). 2022. 「행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구」.
8. 최중두·조정희. 2008. 「자유어업에서의 가격변화 효과 측정: 이론적 접근과 시뮬레이션 분석」. 『해양정책연구』, 제23권 제1호, pp. 219-235.
9. 최희정·이혜영·조성진·임종서·김선미(한국해양수산개발원). 2021. 「해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구」.
10. 한규현. 2007. 「복잡계 (Complex Systems) 란 무엇인가?」 『Nuclear industry』, 제27권 제3호, pp. 56-61.
11. 해양공간계획법(2021.1.5., 법률 제17857호)
12. 해양수산부. 2019. 「해양공간특성평가 지침」 (2019.6.12., 해양수산부 고시 제2019-76호)
13. Axelrod, R. and Tesfatsion, L. 2006. “Appendix AA guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences.” Handbook of computational economics, Vol.2, pp. 1647-1659.
14. Bailey, R.M. et al. 2019. “A computational approach to managing coupled human-

- environmental systems: the POSEIDON model of ocean fisheries.” Sustainability Science, Vol.14 No.2, pp. 259-275.
15. Burgess, M.G. et al. 2020. “Opportunities for agent-based modelling in human dimensions of fisheries.” Fish and Fisheries, Vol.21 No.3, pp. 570-587.
 16. Crooks, A. et al. 2018. Agent-based modelling and geographical information systems: a practical primer, Sage.
 17. Lindkvist, E. et al. 2020. “Navigating complexities: agent-based modeling to support research, governance, and management in small-scale fisheries.” Frontiers in Marine Science, Vol.6, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00733>.
 18. Melbourne-Thomas, J. 2011. “Coupling biophysical and socioeconomic models for coral reef systems in Quintana Roo, Mexican Caribbean.” Ecology and Society, Vol.16 No.3, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04208-160323>.
 19. Topping, C., and 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.
 20. 해양공간통합관리정보시스템, <https://www.msp.go.kr/main.do> (2023년 4월 27일)
 21. MSP Challenge. <https://www.mspchallenge.info> (2022년 6월 20일)

