



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

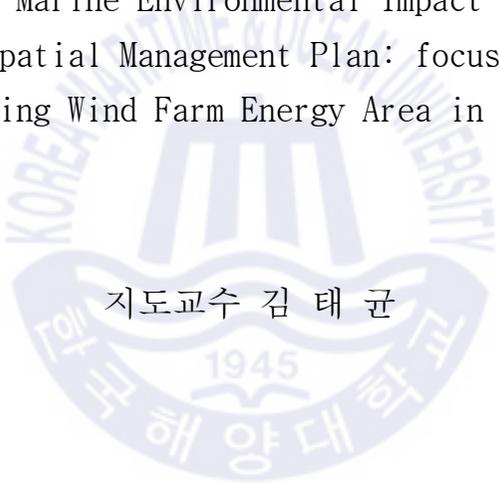
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

정책학석사 학위논문

효율적인 해양공간관리계획 수립을 위한  
해양환경 영향성 평가에 관한 연구  
- 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성을 중심으로 -

A Study on the Marine Environmental Impact Assessment for  
efficient Marine Spatial Management Plan: focused on the Offshore  
Floating Wind Farm Energy Area in Ulsan

The seal of Korea Maritime University is a circular emblem. It features a central shield with three vertical bars, topped by a crown-like element. The shield is set against a background of a stylized wave. The text 'KOREA MARITIME UNIVERSITY' is written in a semi-circle above the shield, and '한국해양대학교' is written in a semi-circle below it. The year '1945' is inscribed at the bottom of the shield.

지도교수 김 태 균

2020년 2월

한국해양대학교 대학원

해양정책학과

최 수 영

본 논문을 최수영의 정책학석사 학위논문으로 인준함

위원장 : 오 용 식  (인)

위 원 : 권 석 재  (인)

위 원 : 김 태 균 

2019년 12월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	v
<b>제 1 장 서론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 내용 및 방법 .....	3
<b>제 2 장 해양공간계획 .....</b>	<b>5</b>
2.1 해양공간계획의 개념과 진행절차 .....	5
2.2 국외 해양공간계획 동향 .....	8
2.3 우리나라의 해양공간계획 .....	16
2.3.1 해양공간계획의 정의와 기본원칙 .....	16
2.3.2 해양공간기본계획 .....	18
2.3.3 우리나라 해양공간관리의 한계 및 문제점 .....	22
<b>제 3 장 해상풍력발전과 해양환경영향 .....</b>	<b>25</b>
3.1 해상풍력발전 .....	25
3.2 해상풍력발전단지의 해양환경문제 .....	29
3.2.1 해상풍력발전 건설단계 .....	29
3.2.2 해상풍력발전 운영단계 .....	30
3.2.3 해상풍력발전 해체단계 .....	33
3.3 해상풍력발전단지의 환경영향 평가 .....	34
3.3.1 해상풍력발전의 환경영향 평가사례 분석 .....	34
3.3.2 환경영향평가를 고려한 풍력발전단지의 경제적 가치추정법 .....	39

<b>제 4 장</b>	<b>해상풍력발전단지 환경피해의 경제적 가치추정</b>	<b>44</b>
4.1	서식지 증가성 분석법(HEA)	44
4.2	울산 부유식 해상풍력발전단지 지정에 따른 해양환경피해 분석	48
4.2.1	울산 부유식 해상풍력발전단지 지정 개요	48
4.2.2	HEA를 이용한 해양환경 및 자원피해 분석	51
4.3	피해추정결과	56
4.3.1	Case-I (사회적 할인율 4.5%, 성숙도 100%)	56
4.3.2	Case-II (사회적 할인율 4.5%, 성숙도 76.9%)	59
4.3.3	Case-III (사회적 할인율 3.0%, 성숙도 100%)	62
4.3.4	Case-IV (사회적 할인율 3.0%, 성숙도 76.9%)	65
4.3.5	민감도 분석	68
<b>제 5 장</b>	<b>결론</b>	<b>69</b>
5.1	연구결과	69
5.2	한계 및 향후 과제	70
<b>참고문헌</b>		<b>72</b>

## List of Tables

Table 1	영국 Irish Sea 용도구역별 허용행위(일부)	10
Table 2	CMSP 과정과 CMS plan의 필수 구성요소	14
Table 3	국외 해양공간계획의 주요내용	15
Table 4	해양공간계획법에 의한 해양공간	16
Table 5	해양공간관리 기본계획에 따른 권역별 구분 및 현안	20
Table 6	해상풍력발전의 평가방법	22
Table 7	육상풍력과 해상풍력 특징	27
Table 8	해양경관에 미치는 영향의 임계값	32
Table 9	Cape Wind Project의 갈등 및 대안	34
Table 10	청사포 해상풍력발전 환경비용 결정 요소	36
Table 11	선행연구 사례를 통한 해양환경영향요소 분석	38
Table 12	가치 유형의 분류	39
Table 13	경제적 가치 방법론	40
Table 14	울산 인공어초 복원사업 현황(1971~2016년)	53
Table 15	해상풍력발전단지 설정으로 인한 HEA 활용 시 변수들	55
Table 16	해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case- I)	57
Table 17	해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case- I)	58
Table 18	해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case- II)	60
Table 19	해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case- II)	61
Table 20	해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case-III)	63
Table 21	해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case-III)	64
Table 22	해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case-IV)	66
Table 23	해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case-IV)	67
Table 24	민감도 분석을 통한 가치 크기 변화	68

## List of Figures

Fig. 1 연구 흐름도 .....	4
Fig. 2 해양공간계획의 핵심요소와 원칙 .....	6
Fig. 3 해양공간계획의 절차 .....	7
Fig. 4 EC European Atlas of Seas 홈페이지 .....	9
Fig. 5 영국의 11개 계획수립 대상 해역 현황 .....	11
Fig. 6 Large Marine Ecosystems and Regional Planning Areas .....	13
Fig. 7 해양공간계획법 상 해양공간 .....	17
Fig. 8 우리나라 해양공간의 현안 .....	18
Fig. 9 해양공간특성평가 절차 .....	21
Fig. 10 우리나라 해양공간의 한계와 문제점 .....	23
Fig. 11 세계 해상풍력발전 규모 .....	26
Fig. 12 해상풍력발전 해상기초물의 종류 .....	28
Fig. 13 해상풍력발전 운영단계 시 환경문제 .....	30
Fig. 14 HEA의 기본개념 .....	45
Fig. 15 하이윈드 부유식 풍력발전 .....	48
Fig. 16 동해-1 가스전 모습 .....	49
Fig. 17 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성 예정 위치도 .....	50
Fig. 18 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성에 따른 예상 피해 .....	51
Fig. 19 울산 부유식 해상풍력발전 피해 HEA 요소 .....	52
Fig. 20 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 4.5%, 성숙도 100%) .....	56
Fig. 21 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 4.5%, 성숙도 76.9%) .....	59
Fig. 22 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 3.0%, 성숙도 100%) .....	62
Fig. 23 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 3.0%, 성숙도 76.9%) .....	65

# A Study on the Marine Environmental Impact Assessment for efficient Marine Spatial Management Plan: focused on the Offshore Floating Wind Farm Energy Area in Ulsan

Choi, Su Young

Department of Ocean Policy  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Korea enacted and implemented a law on marine spatial planning and management that would be the basis for efficient management of marine space. For the efficient implementation of the marine spatial planning, the value evaluation of the space in our waters should be carried out properly based on the characteristics of each use area. However, the our marine spatial planning has a problem that the data collection and management system for marine space is incomplete. The nature of the assessment items in the Guidelines for Assessment of Marine Spatial Characteristics under the Marine Spatial Planning Act are divided into quantitative or qualitative assessments, which may result in equity problems due to different methods of assessment.

This study suggest that objective evaluation standard for Assessment of Marine Spatial Characteristics by using HEA, citing Ulsan floating offshore wind farm energy area as an example. This could help resolve conflicts among stakeholders for the future plans for Marine Spatial Planning by improving the unreasonable problem of the assessment element of spatial characteristics in the current guidelines for Assessment of Marine Spatial characteristics.

The research procedures for understanding the characteristics of marine space where offshore wind farm energy area will be established, and to carry out appropriate environmental impact assessments are as follows. First, consider the current situation of the Marine Spatial Planning at home and abroad and the problems of the current Marine Spatial Planning. Second, the feasibility of the environmental impact assessment method to be used in this study is raised through the case analysis of the preceding study on environmental impact assessment caused by the establishment of offshore wind farm energy area. Third, analysis the environmental problems that may arise from the establishment of offshore wind farms in accordance with the research cases at home and abroad and implement an assessment of the damage impact on them. Fourth, the Habitat Equivalency Analysis method is applied as a method of investigating damage to marine ecosystem that can occur through establishment of offshore floating wind farm energy area in Ulsan, and the results of quantitative evaluation of marine space are presented. Further, the research method and the marginal assessment suggest the direction to move forward in assessing the characteristics of marine space in the future.

The economic value of environmental goods lost from the establishment of offshore wind farms is non-marketable, so direct market prices cannot

be found. Therefore, a methodology should be introduced to assess the economic value of environmental goods, and the HEA was proposed in a way to estimate the economic value of environmental damage in objective numbers. The HEA is a more objective and scientific approach to economic valuation than a CVM, which requires more time and money and may vary depending on personal reflection.

Various damages occur in the waters(5,107.6 ha) where use is banned due to the establishment of floating offshore wind farms in Ulsan, including commercial damage, ecological destruction and a reduction in welfare resulting from damage to the seascape. Alternative restoration projects for calculating the economic value of damage were selected as artificial fish reef projects and estimated as HEA applied to them.

For basic households with a 4.5 percent social discount rate and a 100 percent maturity index from the fourth year, the damage came to about 46,841.64 million won, the report showed. Sensitivity analysis estimated economic damage of up to 56,413.23 million won when applying the average social discount rate of 3.0% in the U.S. and 76.9% of the maturity index of artificial fish reef as stated in the preceding study case.

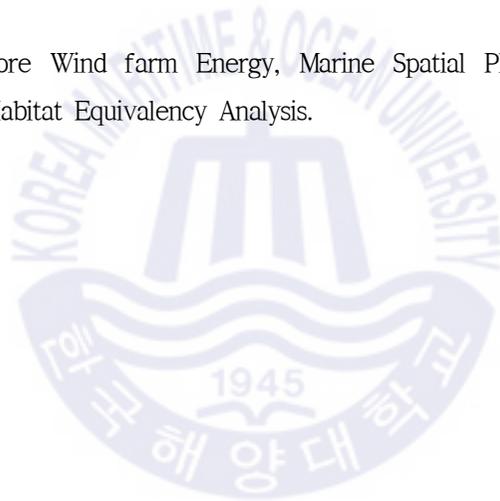
This study estimated the economic value of the waters in which Ulsan floating offshore wind farms will be established through HEA, which can serve as objective criteria for assessment of the marine spatial characteristics. The HEA will be able to solve the irrationality that may arise in the evaluation of marine spatial characteristics, since the value is calculated based on objective and clear DATA.

Estimates from the HEA in this study are examples of only applying the value assessment of marine ecosystem services, and since the various

factors surrounding offshore wind farms have not been considered, direct comparison with the wide range of damage occurring in the waters of the actual offshore wind farms is difficult.

However, it was possible to confirm that objective and reasonable valuation is needed for character assessment of expected use areas in the future marine spatial planning of offshore wind farms. Therefore, in the process of assessing the characteristics of marine space, the interests of the use areas in accordance with the Marine Spatial Planning Act should be clearly distinguished and objective evaluation criteria established.

**KEY WORDS:** Offshore Wind farm Energy, Marine Spatial Planning, Environmental Impact Assessment, Habitat Equivalency Analysis.



# 효율적인 해양공간관리계획 수립을 위한 해양환경 영향성 평가에 관한 연구

- 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성을 중심으로 -

최수영

한국해양대학교 대학원  
해양정책학과

## 초 록

우리나라는 효율적인 해양공간관리를 위해 근거가 될 해양공간계획 및 관리에 관한 법률을 제정하여 시행하고 있다. 해양공간계획의 효율적인 시행을 위해서는 용도구역별 특성을 바탕으로 우리해역 공간에 대한 가치평가가 제대로 이뤄져야 한다. 하지만, 우리나라 해양공간계획은 해양공간에 대한 자료수집 및 관리체계가 불완전하다는 문제점이 있다. 해양공간계획법에 따른 해양공간특성평가 지침의 평가항목 성격을 정량적 또는 정성적 평가로 나누고 있는데, 이는 평가방법이 달라 형평성 문제가 발생할 수 있다.

본 연구는 울산 부유식 해상풍력발전단지를 예로 들어, 서식지 등가성 분석법(Habitat Equivalency Analysis: HEA)을 적용한 가치평가를 통해 해당 해양공간 특성평가를 위한 객관적인 평가기준제시에 있다. 이는 현행 해양공간 특성평가 지침의 공간특성 평가요소의 불합리한 문제점을 개선하여 향후 해양공간계획의 목적인 이해당사자들 간 갈등을 해결하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

해상풍력발전단지가 설립될 해양공간의 특성을 이해하고, 적합한 환경영향평가를 수행할 연구 절차는 다음과 같다. 첫째, 해양공간계획의 국내외 현황 파악과 현행 해양공간계획의 문제점을 짚어본다. 둘째, 해상풍력발전단지 설립으로 인한 환경영향평가 선행연구 사례분석을 통해 본 연구에서 사용하고 자 하는 환경영향평가 방법의 타당성을 제기한다. 셋째, 국내외 선행연구 사례를 통해 해상풍력발전단지 설정으로 발생할 수 있는 환경문제들을 살펴보고 이에 대한 피해영향평가를 시행한다. 넷째, 울산 부유식 해상풍력발전단지 설립을 통해 발생할 수 있는 해양생태계 피해조사방법으로 서식지 등가성 분석법을 적용하고, 해양공간의 정량적인 평가 결과를 제시한다. 또한, 이 연구의 활용방안과 한계평가를 통해 향후 해양공간 특성평가 시 나아가야 할 방향점을 제시한다.

해상풍력발전단지 설립으로 인해 손실된 환경재가 가진 경제적 가치(Total Economic Value)는 비시장재이기 때문에 직접적인 시장가격을 찾을 수 없다. 따라서 환경재의 경제적 가치를 평가할 수 있는 방법론을 도입해야 하며, 환경재 피해의 경제적 가치를 객관적인 수치로 추정할 수 있는 방법으로 HEA를 제시하였다. HEA는 경제적 가치평가에 있어, 더 많은 시간과 비용이 필요하고, 개인적인 의사 반영도에 따라 편차가 다양할 수 있는 조건부 가치 측정법(Contingent Valuation Method: CVM)보다는 좀 더 객관적이고 과학적인 접근법이다.

울산 부유식 해상풍력발전단지 설립으로 인해 사용이 금지된 해역(5,017.6ha)에 서는 상업적 피해, 생태계 파괴, 바다 경관 훼손에서 기인한 후생감소 등 여러 피해가 발생한다. 피해의 경제적 가치 규모 산정을 위한 대체 복원사업을 인공어초사업으로 선정하고, 이를 적용한 HEA로 추정하였다.

4.5%의 사회적 할인율과 4년째부터 100%의 성숙도를 가정한 기본 가정의 경우, 피해액은 약 46,841.64백만원으로 나타났다. 민감도 분석에서는 미국의 평균 사회적 할인율인 3.0%를 적용하고, 선행연구사례에서 밝힌 인공어초의 성숙도인 76.9%를 적용하였을 때는 최대 약 56,413.23백만원의 경제적 피해액이 추정되었다.

이 연구는 해양공간특성평가 지침에 활용될 객관적인 평가 기준이 될 수 있는 HEA를 통해 울산 부유식 해상풍력발전단지가 설립될 해역의 경제적 가치를 추정하였다. HEA는 객관적이고 명확한 DATA를 기본으로 가치를 산정하기 때문에 해양공간특성평가 시 발생할 수 있는 불합리성을 해결할 수 있을 것이다.

본 연구의 HEA를 통한 추정값은 해양생태계 서비스의 가치평가만을 적용한 사례로, 해상풍력발전단지를 둘러싼 다양한 요소가 고려되지 않아서 실제 해상풍력발전단지 해역에서 발생하는 광범위한 피해들과의 직접적인 비교는 어렵다. 그러나, 향후 해상풍력발전단지의 해양공간계획 수립 시 예상되는 용도구역들의 특성평가를 위해서는 객관적이고 합리적인 가치평가가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 우리나라 해양공간특성평가 과정에서는 해양공간계획법에 따른 용도구역간 이해관계를 명확하게 구분하고, 객관적인 평가 기준이 마련되어야 할 것이다.

**KEY WORDS:** 해상풍력에너지, 해양공간계획, 환경영향평가, 서식지 등가성 분석법

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

해양공간계획(Marine Spatial Planning: MSP)이란, 해양공간 사용자들 간 발생할 수 있는 상호작용에 대해, 보다 합리적인 조직을 만들어 해양생태계보호의 필요성과 개발수요의 균형을 맞추고, 개방적이고 계획적인 방법으로 사회경제적 목적을 달성하는 실용적인 방법이다(UNESCO IOC, 2009).

선점식 해양이용에 따른 문제에 대응하기 위해 세계 70개국이 자국의 법제도 여건과 해역의 특성을 고려하여 140개 해양공간계획을 다양한 형태로 이미 도입하였거나 도입을 추진중에 있다(MOMAF, 2019).

한편, 우리나라도 효율적인 해양공간관리를 위해 근거가 될 해양공간계획 및 관리에 관한 법률(이하 해양공간계획법)을 제정하여 2019년부터 시행하고 있다. 해양공간계획법 제12조(해양용도구역의 지정 등)는 우리나라 해양공간에 대한 9가지의 특성평가를 제시하고 있다. 이는 어업활동보호구역, 골재·광물자원개발구역, 에너지개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계 관리구역, 연구·교육 보전구역, 항만·항행구역, 군사활동구역, 안전관리구역을 말한다. 해양공간계획의 효율적인 시행을 위해서는 이러한 용도구역별 특성을 바탕으로 우리해역 공간에 대한 가치평가가 제대로 이뤄져야 한다. 하지만, 우리나라 해양공간계획은 해양공간에 대한 자료수집 및 관리체계가 불완전하다는 문제점이 있다. 해양공간에 대한 자료수집 체계가 명확하지 않은 상태에서 해양공간 특성평가가 이뤄질 경우, 합리적인 공간계획이 수립될 수 없는 위험이 있으며, 이는 지속적으로 이해당사자들 간 갈등을 유발할 것이고, 잘못된 국가사업 시행으로 국고손실 뿐만 아니라, 생태계 파괴 등 여러 부정적 결과를 초래할 수 있다. 따라서 해양수산부는 해양공간의 지속가능한 이용·개발 및 보전 방향을 유도하고 결정하는데 필요한 해양공간특성평가 지침을 고시하였다. 하지만 현행 해양공간특성평가 지침의 용도구역에 따른 평가항목 성격을 정량적 평가 또는 정성적 평가로 나누고 있는데, 이는 평가방법이 달라 형평성 문제가 발생할 수 있다.

그 대표적인 사례로 해상풍력발전단지 조성과 어업활동 및 환경·생태계 관리구역과의 경합 사항을 들 수 있다. 해상풍력발전단지 설립에 관한 이해당사자 간 갈등은 지속적으로 발생하고 있으며, 이러한 갈등을 해소하기 위해 해양공간계획이 필요하다. 또한, 이러한 해양공간계획의 효율적인 수립을 위해 해양공간특성평가 기준이 중요한 것이다. 현행 해양공간특성평가 지침에서는 어업활동에 대해서는 어획량, 어선 밀집도 등의 정량적 평가로 이뤄지고, 에너지 개발구역인 해상풍력발전단지는 조성 여부에 대한 정성적 평가를 제시하고 있다. 그리고 해상풍력발전단지의 가치는 일반 시장에서 판매되는 시장재가 아니기 때문에 조건부 가치 측정법(Contingent Valuation Method: CVM)을 이용하여 가치를 측정하는 반면, 어업 활동은 어획량 통계에 어획별 단가를 적용한 시장가치를 측정하여 우선순위를 정하게 되는 것이다. 이럴 경우, 각 용도별 평가 기준이 달라서 사용가치와 비사용가치를 포함하여 평가하는 CVM을 통한 가치평가가 단순히 사용가치만 평가할 수 있는 시장가치 측정결과보다 과다하게 나올 가능성이 커 용도평가의 불합리성을 가질 위험이 있다.

이러한 해상풍력발전단지 설립으로 발생하는 환경영향의 평가에 있어 CVM을 적용한 국내연구사례로는 Kim et al.(2019)의 연구가 있다. 이 연구에서는 해상풍력발전단지의 환경비용을 CVM을 통해 추정하였다. 설문 분석을 통해 얻은 지불 가능한 한계금액을 환경비용으로 설정하고, 이를 결정하는 요소는 육지로 부터 거리, 해상풍력발전 면적, 해상풍력발전 높이, 해양생물 감소율이 적용되었다. CVM은 추정치가 실제 지불의사액보다 과대평가 혹은 과소평가될 위험이 존재한다. 응답의 진정성, 응답자가 평가대상에 대해 가진 정보수준, 가상시장 질문에 대한 체감 정도, 개인 특성(소득 수준, 성별, 교육수준, 연령 등)에 따른 가치부여수준에 따라 다양하게 반영되기 때문이다(Hong & Eom, 2011).

이에 비해 서식지 등가성 분석법(Habitat Equivalency Analysis: HEA)은 객관적으로 제시된 정보를 바탕으로 가치평가가 이뤄지므로 좀 더 정량적이고, 설문에 소요되는 시간이 생략되므로, 시간적인 측면에서도 더 효율적이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 울산 부유식 해상풍력발전단지에 대해 HEA를 적용한 가치

평가를 통하여 해당 해양공간 용도구역 특성평가를 위한 객관적인 평가기준 제시에 있다. 이는 현행 해양공간특성평가 지침의 공간특성 평가요소의 불합리한 문제점을 개선하여 향후 해양공간계획의 목적인 이해당사자들 간 갈등 해결에 도움이 될 수 있을 것이다.

## 1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 해상풍력발전단지가 설립될 해양공간의 용도구역 우선순위 설정을 위한 객관적인 정보를 제공하고자 한다. 이를 위해 첫째, 해상풍력발전단지 설정에 있어 가장 중요한 기준인 해양공간계획의 국내외 현황파악과 현행 우리나라 해양공간계획의 문제점을 짚어본다. 둘째, 해상풍력발전단지 설립으로 인한 환경영향평가 선행연구 사례분석을 통해, 본 연구에서 사용하고자 하는 환경영향평가방법의 타당성을 제기한다. 셋째, 국내외 선행연구 사례를 통해 환경·생태계 관리구역 측면에서 해상풍력발전단지 설정으로 발생할 수 있는 환경문제들을 살펴보고 이에 대한 피해영향평가를 시행한다. 넷째, 울산 부유식 해상풍력발전단지 설립을 통해 발생할 수 있는 해양생태계 피해조사방법으로 서식지 등가성 분석법을 적용함으로써 해양공간의 정량적인 평가 결과를 제시한다. 또한, 이 연구의 활용방안과 한계평가를 통해 향후 해양공간 특성평가 시 나아가야 할 방향점을 제시한다.

Fig. 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.



Fig. 1 연구 흐름도

## 제 2 장 해양공간계획

### 2.1 해양공간계획의 개념과 진행절차

해양은 인간이 개발할 수 있는 자원의 보고이며 다양한 부가가치를 창출할 수 있어 각광받고 있는 분야이다. 그동안 국제사회는 수산, 해상교통, 천연가스 개발 등 해양자원과 공간을 활용하여 다양한 경제활동을 하였다. 그러나 최근 지구환경의 변화로 인간은 해양에서의 경제활동을 해상과 해중의 일정 깊이에서 심해광물자원, 해수자원 등 점차 그 범위를 대형화, 심해화하여 해양공간으로 확대하고 있다. 하지만 해양은 인간 상호 간 공유의 성격이 강해, 해양에 대한 경제적 창출이 확대됨에 따라 인간 상호 간 갈등은 점차 확대되는 추세이다. 이에 따라 국제사회에서는 상호 간 갈등을 사전예방하고, 상호협력에 바탕을 둔 해양공간관리가 중요함을 인식하여 해양공간계획을 통해 해양공간을 관리하고자 하였다.<sup>1)</sup>

해양생태계에 기본을 둔 해양공간관리를 위하여 각 국가를 지원하는 유네스코 정부 간 해양위원회(Intergovernmental Oceanographic Commission: IOC)에서는 해양공간계획을 “해양에서 인간활동의 시간적, 공간적 배치를 위한 해양생태계 기반의 공간할당 및 분석의 공공정책과정(Public process)을 충칭하며, 궁극적으로 해양이용의 생태적, 경제적, 사회적 목적을 달성할 수 있게 하는 과정”으로 정의하고 있다(UNESCO, 2009). 또한 유럽공동체(EU) EC에서는 해양공간계획을 “데이터수집 및 계획수립 시, 이해관계자 참여에서부터 계획의 이행, 평가, 수정으로 구성되는 일련의 과정”이라고 정의하기도 하였다. 한편, 한국해양수산개발원(2011)에서는 해양생태계 기반하에 다목적 해양이용 및 활동을 관리하기 위한 다양한 수단이 필요하다는 가정하에 해양공간계획은 공간을 기반으로 하는 계획으로 다음의 5가지에 해당하는 공간을 해양공간계획으로 정의하였다. 첫째, 관리대상인 생태계의 경계, 둘째, 연구목적 등 생태학적으로 중요한 해양공간, 셋째, 경제적 가치와 잠재적 특성을 가진 해양공간, 넷째, 인간

1) <http://marineplanning.org>

과 상호작용하는 해양공간, 다섯째, 갈등이 발생하는 해양공간 등이 이에 해당한다(KMI, 2011). 이러한 공간의 정의를 기반으로 해양공간관리를 위한 계획과 분석은 면밀한 연구와 데이터의 수집결과에 기반을 두어야 한다. 즉, 해양공간계획은 해양에서 인간의 활동을 시공간적으로 배분하는 프로세스 전반을 의미한다. 해양에 대한 공간기반 분석, 예측, 시나리오 구성 등을 전제하고 다양한 이해관계자의 참여를 통해 합리적인 의사결정의 기반이 형성됨으로써 진행된다. 해양공간계획은 기존의 해양에 관리계획을 보다 정밀하고 과학적인 공간분석, 예측 방법을 통해 작성토록 하고, 이를 실행수단으로 연결시키는 방안이라고 재해석 할 수 있으며, 해양공간계획의 핵심요소와 원칙은 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다.

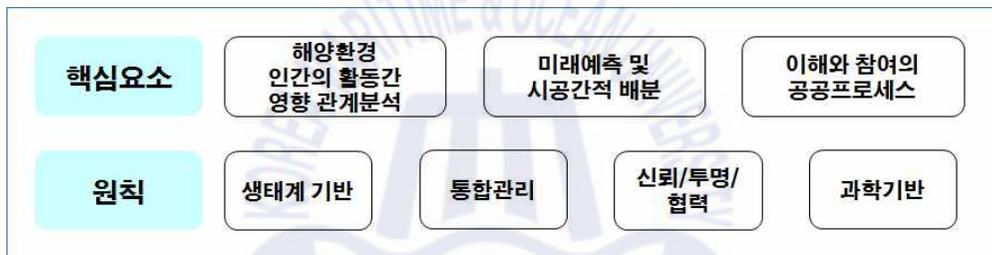


Fig. 2 해양공간계획의 핵심요소와 원칙

Source : 이문숙, 2012.

해양에서 이용자 상호 간의 참여와 협력을 실현하기 위해서는 단계적인 해양공간계획이 필요하다. IOC는 해양공간계획 절차를 Fig. 3과 같이 1단계 필요사항 파악 및 시행기관 선정에서부터 10단계 공간관리 진행 적용 및 수정까지 총 10단계로 제시하였다. 특히, 3단계~7단계까지는 이해 당사자가 참여하여 상호공유를 통해 갈등을 최소화 할 것을 권고하고 있다.

한편, 남정호(2010)는 IOC의 해양공간계획 절차 10단계를 사전준비-자료 분석-제정/시행-평가/개선이라는 4가지 큰 틀로 재구성하였다. 사전준비 과정은 IOC의 1~4단계로 해양공간계획 수립 전 필요한 사항을 파악 및 수집하고 해양공간계획 시행기관을 지정(1단계), 해양공간계획을 위한 재원을 확보(2단계), 사전계

획을 통해 해양공간계획의 범위 및 수립절차를 진행하고 해양공간계획의 최종 목표를 수립(3단계), 해당 해역과 밀접한 이해관계자들을 분석하고, 이들이 계획 수립과정에 적극적으로 참여할 수 있도록 조직(4단계)하는 것을 하나의 과정으로 보았다. 자료 분석 과정은 IOC의 6~7단계로, 정책결정자와 이해관계자가 이용개발을 우선하는 시나리오, 생태계 보전을 우선하는 시나리오(6단계), 두 가지가 대립하는 시나리오 등 다양한 시나리오(7단계)를 토대로 이루어진다. 정책결정자와 이해관계자는 시나리오 분석 결과를 토대로 최적의 계획(안)을 승인(7단계)하고 이를 시행하는 계획수립 및 시행(8단계)과정을 거친다. 계획 시행 후 나타나는 사회적·경제적·생태적 변화를 모니터링(9단계)하고, 계획 실적 평가결과에 기초하여 계획을 수정(10단계)하면 해양공간계획의 한세대가 마무리 된다.

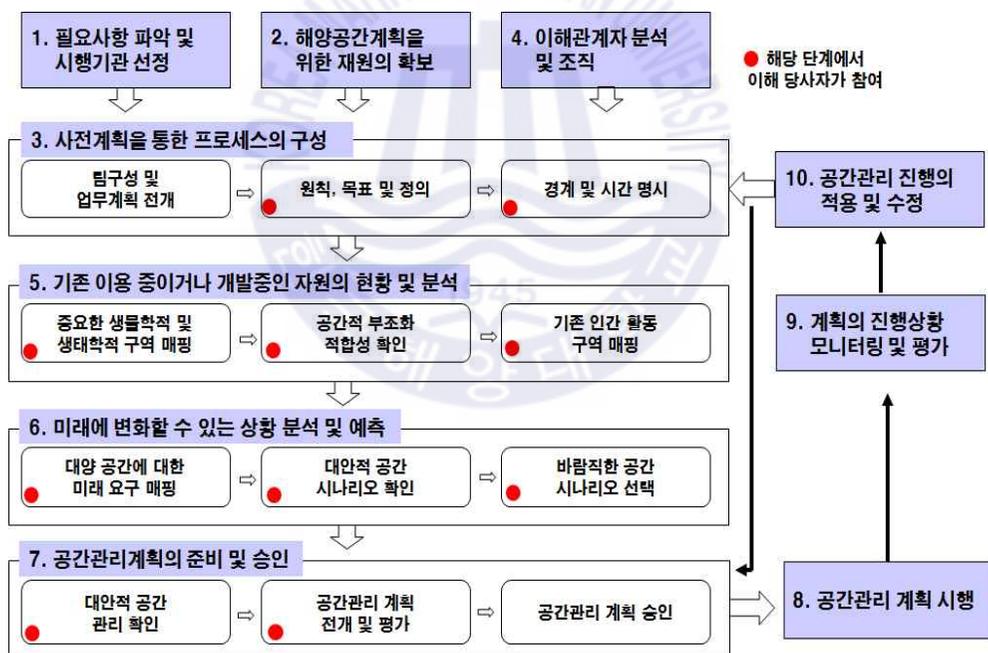


Fig. 3 해양공간계획의 절차(IOC, 2009)

## 2.2 국외 해양공간계획 동향

2000년대에 들어서면서 연안국을 중심으로 해양공간계획은 미래 해양관리를 위한 주요 수단으로 인식되었고, 각국은 해양공간계획을 자국 여건에 맞게 도입하고자 노력하고 있다. 해양공간계획은 연안·해양보호구역에서부터 배타적 경제수역을 포함한 해양을 대상으로 하고 있다. 주로 유럽과 호주를 중심으로 활발하게 이행되고 있으며, 영국, 벨기에, 독일, 네덜란드가 해상풍력과 그 외 다양한 해양활동의 종합관리에 있어 해양공간계획을 적극 활용하고 있다. 또한, 미국도 연안·해양공간계획(Costal and Marine Spatial Planning: CMSP)을 수립하여 추진하고 있다. 이에 우리나라보다 해양공간계획을 먼저 수립 및 시행하고 있는 유럽연합, 영국, 미국 해양공간계획 동향을 확인하였다.

### 1) 유럽연합(European Union: EU)

EU는 해양에서의 비효율적인 이용과 개발, 자연환경 훼손 등의 문제에 대응하기 위하여 2007년에 EU 통합해양정책(An Integrated Maritime Policy for the European Union, IMP)을 마련하였다. 통합해양정책은 유럽의 해양을 지속 가능하도록 관리하기 위한 대표적인 정책으로 새로운 일자리 창출, 경제적 기회 창출, 온실가스 감축 목표 달성, 다음 세대를 위한 건강한 바다 유지를 기본 목표로 설정하였고, 기본목표를 달성하기 위한 효율적인 방법으로 해양공간계획을 도입하였다. 해양공간계획의 효율적인 실행을 위해 유럽연합 집행위원회(Commission of European Communities: EC)는 ‘EU 통합 해양정책’ 작성을 통해 개별국가가 공통적으로 지켜야 할 원칙으로 생태기반 접근방식(Ecosystem-based approach)을 제시하였으며, 이를 실현하기 위한 10가지 핵심원칙<sup>2)</sup>도 제시하였다.

2) 첫째, 행위의 유형과 범위가 환경에 미치는 영향에 따른 MSP 활용, 둘째, MSP가 추구하는 목표를 구체적으로 설정, 셋째, 투명한 MSP 수립, 넷째, MSP에 관련된 이해당사자의 참여 보장, 다섯째, MSP를 통하여 해양 관련 의사결정을 단순하게 하고 면허, 허가 관련 과정을 빠르게 처리, 여섯째, 개별국가에서 MSP에 관한 법적근거 마련, 일곱째, 국가 간 경계를 넘어서 협력적 MSP 수립, 여덟째, 투명한 정기적인 모니터링과 평가체계 구축, 아홉째, 육지의 공간 계획과 MSP 일치, 열째, 탄탄한 데이터와 지식에 기반.

해양공간계획은 기본적으로 개별국가가 자국 해역을 대상으로 수립하지만, 유럽의 해양은 다양한 국가가 인접해있고 해양자원의 이용 및 개발이 활발하여 다수 국가의 해역을 포함하는 통합적인 MSP 수립이 필요하였다. 특히 북해는 영국, 벨기에, 네덜란드, 독일 등이 접해있고 해운, 수산, 골재채취, 해상풍력 등 해양자원에 대한 이용 및 개발이 경쟁적으로 이루어지고 있어, EC는 다수의 국가가 함께 공유할 수 있는 해양공간계획 수립의 필요성이 절실하였다. 이에 Maritime Spatial Planning in the North Sea(MASPNSE)라는 이름으로 초국가적 해양공간계획 프로젝트를 진행하였다. 이는, 국가 간 경계를 넘어서는 협력적인 해양공간계획 수립(Cross-border cooperation and consultation)을 실현한 사례라 할 수 있다(KMI, 2011).



Fig. 4 EC European Atlas of Seas 홈페이지

2) 영국(Jung, 2010)

영국의 해역은 2000년대 초반까지 이용의 우선순위를 결정할 전략적·공간적 계획 없이 ‘First-come-first-served(빠른 사람이 제일)’의 원칙에 따라 이용되었다. 즉, 석유 및 가스, 광물 등의 채취, 선박운행, 해양위락 행위, 보호지역 지정 등이 개별적인 제도 속에서 이루어졌다. 이로 인해 해역의 자연환경이 훼손되었고 개별 이용행위 간 상충이 발생했다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법의 하나로 해양공간계획이 제안되었으며, 용도구역제를 핵심적인 실행수단으로 채택하였다.

Table 1 영국 Irish Sea 용도구역별 허용행위(일부)

구분	일반이용구역		보전 우선구역	제한구역	
	최소 관리구역	특정 관리구역		부분적 제한	포괄적 제한
집단적 채취	O(협의필요)	O(협의된지역)	O(협의된지역)	X	X
준설	O(협의필요)	O(협의된지역)	O(협의된지역)	X	X
군사	O	O	O	O	X
석유 및 가스	O(협의필요)	O(협의된지역)	O(협의된지역)	X	O
항구 및 항만	O	O	O	X	X
연구 및 교육	O	O	O	O(면허필요)	O(면허필요)
수산업	O	O	O	O	X
선박운항	O	O	O	O(제한적)	X
해저케이블	O(협의필요)	O(협의된지역)	O(협의된지역)	O	X
풍력	O(협의필요)	O(협의된지역)	O(협의된지역)	X	O

주 : O 허용, X 금지

Source : Boyes et al, 2005.

특히, 1990년대 말 해상풍력발전을 위해 해양공간을 사용하려는 움직임과 함께 해양공간을 이용하려는 경쟁 또한 가속화되면서 해양공간계획에 대한 관심

이 높아짐에 따라, Irish Sea 지역을 대상으로 해양공간계획 시범사업을 실시하게 된다. 영국정부는 Irish Sea를 일반이용구역(General use zone), 보전우선구역(Conservation priority zone), 제한구역(Exclusion zone), 보호구역(Protected zone)의 4가지로 구분하였고, 용도구역의 허용수준에 따라 다시 복합적(Multiple), 부분적(Partial), 제한적(Exclusive)으로 이용할 수 있는 3가지로 구분하였다. Irish Sea 지역에 지정된 용도구역의 약 99%는 기존에 허용된 행위가 가능하도록 지정하였는데, 이는 Irish Sea 지역이 사회적, 경제적 이용이 활발한 지역이라는 것을 말해준다. 사회적, 경제적 이용이 활발한 만큼 이용행위 간 이해관계도 심각했다. 이를 해결하기 위해 해양공간계획을 도입하여 이용행위 간 우선순위를 정하고, 더불어 효율적인 해양공간의 이용을 도모할 수 있었다.

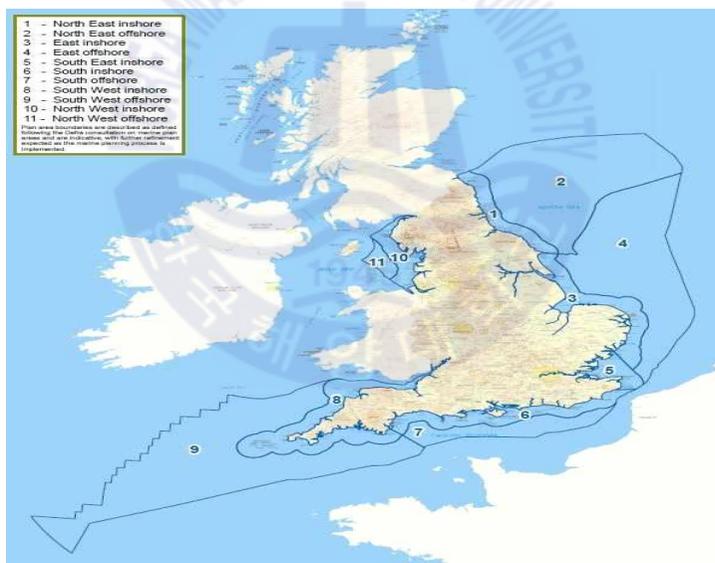


Fig. 5 영국의 11개 계획수립 대상 해역 현황

Source : MMO, 2014.

영국은 2009년 11월에 해양 및 연안 접근법(Marine and Coastal Access Act)을 제정하면서 해양공간계획 수립을 위한 법적 근거를 마련하였다. 동법에는 해양관리기구, 해양계획, 해양면허, 자연보전, 수산업, 연안접근에 관한 규정이

있으며 해양계획 수립 시 핵심적인 11가지 행위와 해양계획 수립권자가 고려해야 할 이슈를 구체적으로 제시하였다. 또한, 영국 해역을 11개의 지역(Marine area)으로 구분하여 영해와 EEZ를 통합하는 해양계획을 수립하였다. 현재까지 East Marine Plans(2014), South Marine Plans(2018)가 수립되었다.

### 3) 미국(Choi, 2010)

미국의 해양에서는 상업, 레저, 문화, 에너지, 과학, 안보 등 다양한 활동이 이루어지고 있다. 연안 및 해양은 지역, 국가의 경제와 문화에 영향을 주지만 미국의 해양에서 이루어지는 활동은 부분적으로 관리되고 있었다. 그러나 최근, 연안 및 해양관리에 있어서 선진국이라 할 수 있는 미국은 기후변화와 미래에 대비한 통합해양정책의 필요성을 강조하였다. 미국은 2010년 해양, 연안, 오대호 지역의 현재와 미래 이용을 파악하기 위한 포괄적·적응적·통합적·생태계 기반의 공간계획 수립과정인 연안·해양공간계획제도(Coastal and Marine Spatial Planning: CMSP)를 도입하여 이행하고 있다.

CMSP는 경제적, 생태적, 사회적 이익을 가져올 것으로 기대되고 있다. 경제적인 측면에서는 산업, 운송, 기반시설, 비즈니스에 경제적 투자를 위한 투명성과 예측 가능성을 제공한다. 생태적인 측면에서는 생태적으로 중요한 지역의 보전과 맞물려 이용계획을 수립하는 것에 의해 생태계의 건강성과 생태계 서비스를 증가시킬 것이다. 사회적 측면에서 CMSP는 연안, 해양, 오대호의 미래를 결정하기 위해 계획과정에 지역주민과 사회가 참여할 수 있는 기회를 제공한다.

특히, 미국은 CMSP 수립을 위하여 해양생태계의 특성이 중요함을 인식하고, 기존의 지역 관할 범위와 해양생태계의 특성을 고려한 계획수립을 위해 광역해양생태계(Large marine ecosystems, LMEs)에 기반하여 Fig. 6과 같이 9개로 지역을 구분하였다.

미국의 CMSP에 관한 사항은 국가해양위원회(National Ocean Council: NOC)가 관련 주 및 지역과 함께 추진하고 있으며, 7개의 국가목표를 제시하고 있다. 7

개의 국가목표는 해양공간관리에 있어서 통합·조정·협력을 실현하기 위해 설정된 것이다.



Fig. 6 Large Marine Ecosystems and Regional Planning Areas

Source : Interagency Ocean Policy Task force, 2009.

연방기관, 주, 지역주민은 CMSP에 참여할 것이고, 지역계획 수립기관은 지역 CMSP를 수립하며, NOC가 이를 승인하게 된다. 즉 미국의 CMSP는 CMS plan을 수립하기 위한 일련의 과정으로 Table 2와 같이 계획수립 대상, 규제, 지역평가, 목표, 전략, 수단, 모니터링, 평가, 논쟁 해결절차 등의 내용을 모두 포함하고 있다.

Table 2 CMSP 과정과 CMS plan의 필수 구성요소

CMSP process	CMS plan
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지역목표 인식</li> <li>· 기존 노력 확인</li> <li>· 이해관계자와 공공의 참여</li> <li>· 전문가(과학자, 기술자 등) 자문</li> <li>· 데이터 분석</li> <li>· 대안적 미래 이용 시나리오 개발 및 평가</li> <li>· 환경영향 분석을 받은 CMS plan(안)의 준비와 발표</li> <li>· 최종(안) 작성과 NOC 제출</li> <li>· NOC가 승인한 CMS plan의 이행, 모니터링, 평가, 보완</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지역개괄 및 계획수립 범위</li> <li>· 규제사항</li> <li>· 지역평가</li> <li>· CMSP의 목표, 전략, 수단, 메카니즘</li> <li>· 이행 체제</li> <li>· 모니터링과 메카니즘의 평가</li> <li>· 논쟁 해결 과정</li> </ul>

#### 4) 국외 해양공간 계획의 시사점

해양과 관련된 EU와 영국, 미국의 사례를 통하여 살펴본 바와 같이 해양공간 계획은 복잡하기도 하지만, 해양이용·개발을 효과적으로 관리하는 수단이라는 데 각국이 공감하고 있었다. 국외 해양공간계획의 주요내용은 Table 3과 같이 정리할 수 있으며, 이들의 공통적인 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 해양공간계획을 지칭하는 명칭과 도입배경은 약간의 차이는 있지만, 나라별 상황과 환경에 맞는 계획을 수립하여 시행하고 있다. 둘째, 해양공간계획 수립의 기반이 되는 법률을 제정하고 계획을 시행할 전문기구 설립을 통해 전문적으로 해양공간계획을 시행한다. 셋째, 나라별 정책 방향에 따라 해양공간관리 목표와 원칙을 설정하였으며 이는 해양공간 설정에서 연안구역 뿐만 아니라, EEZ를 포괄하고 있는 광역단위까지 다양하게 나타났다. 끝으로 각국의 해양공간계획의 특징을 살펴보면 EU는 국가 간 경계를 넘어선 협력적인 해양공간계획을 수립하였고, 영국은 이용행위 간 우선순위를 통한 효율적인 해양공간 이용을 도모하였다. 미국은 해양의 미래를 결정하기 위한 과정에 주민과 사회를 적극 동

참시키고 있었다.

**Table 3** 국외 해양공간계획의 주요내용

구 분 (도입년도)	유럽연합 (2008년)	영국 (2009년)	미국 (2010년)
대상범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EU 소속 개별국가 해역범위</li> <li>· Marine Region 일관성 유지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 영해 및 EEZ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 영해, EEZ, 대륙붕</li> </ul>
관련법 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EU 통합 해양정책</li> <li>· MASPNOSE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양 및 연안접근법</li> <li>· East/South Marine plan</li> <li>· Irish Sea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연안 · 해양공간 계획</li> <li>· 광역 해양생태계</li> <li>· CMS plan</li> </ul>
주요내용 및 수단	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생태계기반 접근</li> <li>· 10가지 핵심원칙</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양계획</li> <li>· 11가지 행위</li> <li>· 계획 수립권자의 이슈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생태계기반 관리</li> <li>· NOC</li> </ul>
도입배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양의 건강한 상태 유지와 경제적 기회 창출을 달성할 수 있는 필요성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양의 개별적인 이용 및 개발에 따른 환경훼손 및 비효율성</li> <li>· 해양풍력 등 새로운 해양이용 수요 대응</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 통합적 해양관리체계 구축 및 상충 조정</li> </ul>
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국가 간 경계를 넘어선 협력적인 해양공간계획수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이용행위 간 우선순위를 통한 효율적인 해양공간 이용 도모</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양의 미래를 결정하기 위한 과정에 주민과 사회 참여의 기회 제공</li> </ul>

## 2.3 우리나라의 해양공간계획

### 2.3.1 해양공간계획의 정의와 기본원칙

우리나라 해양공간계획의 최상위 법률은 해양공간계획 및 관리에 관한 법률 (법률 제15607호, 2018.4.18.)로 해양공간의 지속가능한 이용·개발 및 보전에 관한 계획의 수립 및 집행 등에 필요한 사항을 정하여 공공복리를 증진시키고 해양을 풍요로운 삶의 터전으로 조성하는 것을 목적으로 제정되었다.

동법 제2조(정의)에서는 해양공간과 해양공간계획에 대해 정의하고 있다. 먼저 “해양공간”은 「영해 및 접속수역법」에 따른 내수·영해, 「배타적 경제수역 및 대륙붕에 관한 법률」에 따른 배타적 경제수역·대륙붕 및 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제6조제1항제5호에 따른 해안선으로부터 지적공부에 등록된 지역까지의 사이를 포함한 것을 말한다고 정의하고 있어, 우리나라의 해양공간은 국제법적으로 우리나라의 영역과 이를 관할해야 하는 전체 구역이라 할 수 있다. 또한 “해양공간계획”은 인간의 해양활동과 해양자원을 통합적으로 관리하기 위해 해양수산부 장관이 제5조에 따라 수립하는 해양공간기본계획과 해양수산부장관 또는 광역시장·도지사·특별자치도지사가 제7조에 따라 수립하는 해양공간관리계획을 말한다고 정의하고 있어, 해양공간계획은 정부 및 지자체가 해양을 효율적으로 관리하기 위해 참여의 범위를 확대해 두고 있다. 해양공간의 공간적 범위를 세분화하면 Table 4 및 Fig. 7과 같다.

Table 4 해양공간계획법에 의한 해양공간

구분		내 용
수평적 범위	내수	기선으로부터 육지 쪽에 있는 수역
	영해	기선으로부터 그 바깥쪽 12해리의 선까지에 이르는 수역
	배타적 경제수역 및 대륙붕	기선으로부터 그 바깥쪽 200해리의 선까지의 수역과 대륙붕
수직적 범위		해저, 해중, 해수면 및 해수면 위 공간

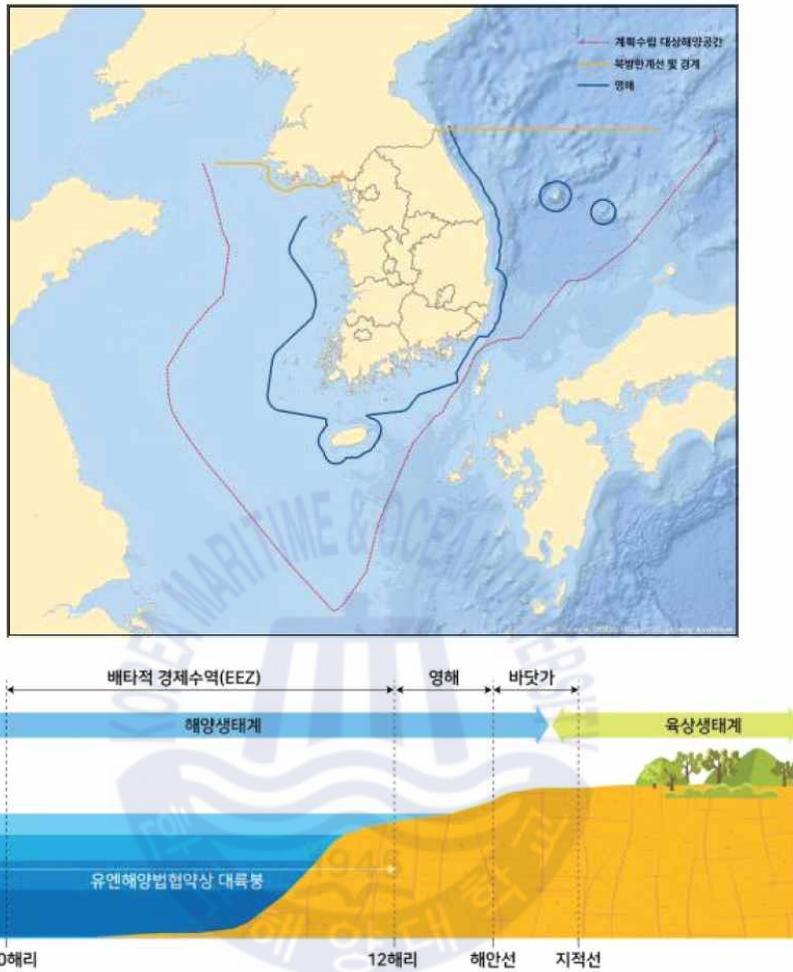


Fig. 7 해양공간계획법 상 해양공간

Source : MOMAF(2019).

또한, 동법 제3조(기본원칙)에서는 해양공간의 기본원칙을 다음 4가지로 제시하고 있다. 첫째, 생태적·문화적·경제적 가치가 공존할 수 있도록 종합적이고 미래지향적인 관점에서 이용·개발 및 보전할 것, 둘째, 국방안전과 해상교통안전 등 공공의 수요를 우선적으로 고려할 것, 셋째, 국민의 해양공간 관리에 대한 정책 참여와 건전한 이용 기회를 보장할 것, 넷째, 해양공간의 통합관리를 실현하기 위하여 국제협력 및 남북협력을 증진할 것 등이다. 법에서 정하고 있

는 해양공간의 4가지 기본원칙은 효과적인 해양공간을 관리하기 위하여 다양한 지역과 분야에 유연하게 적용할 수 있도록 하고 있으며, 현재와 미래가 공존하고, 언제일지 모르지만 한반도 전체를 관리하는 개념이 포함된 것이라 할 수 있다.

### 2.3.2 해양공간기본계획(MOMAF, 2019)

#### 1) 해양공간기본계획의 필요성

우리나라는 3면이 바다이고, 해양공간계획법에 따라 해양공간을 영해 및 EEZ를 포함한 구역까지 관리하는 것으로 하고 있다. 이에 정부는 해양공간관리 우선순위와 해역별 현안을 고려한 다양한 수요를 현명하게 수용하기 위한 해양공간 통합관리 국가이행체제 구축이 필요하였다. 또한, 높은 성장 잠재력을 갖고 있는 해양이용 및 개발에 대한 수요 증가는 새로운 경제성장 기회와 해양공간에 대한 경쟁, 이용갈등 증가의 위협을 동시에 제공할 뿐만 아니라, 해양공간 개발·이용·보존 간 갈등이 심화될 경우 지속 가능한 해양경제 성장동력 우화가 우려되어 정부는 계획적인 해양공간관리, 지속 가능한 해양경제 성장을 효과적으로 지원하는 해양공간 통합관리 체제 구축이 필요하게 되었다. 이러한 해양공간계획의 현안업무를 능동적으로 대응하기 위해 정부는 해양공간계획법 제5조에 따라 “제1차 해양공간기본계획”을 2019년에 수립하게 되었다.



Fig. 8 우리나라 해양공간의 현안

Source : MOMAF(2019).

## 2) 해역별 관리현안

해양공간기본계획에서는 해양공간의 이용·개발 및 보전 수요와 관련하여 7개 분야(해양관광, 에너지개발, 어업활동, 골재·광물자원 개발, 해양생태계, 해양환경, 해양보호생물 등)로 구분하였다. 또한, 해역별 관리현안과 관련하여 정부는 첫째, 해양에너지 개발수요 증가로 기존 해양이용 행위와 갈등 발생, 둘째, 신항만 개발, 마리나 항만사업 등 해양이용개발에 필요한 가용공간 확보를 위한 합리적 공간 배분 체계 구축의 필요, 셋째, 자원 및 에너지개발 사업이 연안에서 배타적 경제수역(Exclusive Economic Zone: EEZ)으로 확대되면서 기존 어업 활동과 상충되는 영역의 확장, 넷째, 국민의 해양환경 및 생태계 보전에 대한 인식 증진에 따른 해양생태계 보호수요 증가로 보전과 개발의 양립 부각, 다섯째, 해상물동량, 양식업의 증가뿐만 아니라 해양스포츠와 여가활동 증가로 해양선박 이용밀도 상승에 따른 해상안전사고 방지 필요성 증대, 여섯째, 해양 보호 생물의 보호, EEZ의 에너지 및 자원개발, 관할 해역의 관리 등 EEZ의 해양공간관리와 영해 해양공간관리 연계정책 강화의 필요성 대두 등으로 정부는 단위 해역의 유사성과 지리적 근접성에 기초하여 Table 5와 같이 5개 권역으로 구분하고, 권역별 해양공간 관리현안을 도출하여 효율적인 해역을 관리하고자 하였다.

특히, 본 연구에서 다루고자 하는 해상풍력발전과 관련하여 남해동부, 동해중부, EEZ에서 이용자 간 갈등이 상존하거나 확대되는 경향을 보이는 문제점을 기본계획에서 다루고 있다. 먼저 남해동부는 해기 해상풍력 발전단지(총 108기, 540MW), 통영시 육지도 해상풍력발전단지 조성사업(100MW) 등 추진에 따른 어민과의 갈등 그리고 울산 동해 가스전 해역에 부유식 해상풍력발전단지를 2022년까지, 울산항 인근 육상 및 해상에 에너지산업 융복합단지를 2030년까지 조성하는 계획추진으로 해상풍력 발전단지 대형화 및 해상풍력 발전단지 건설에 따른 기존 이용자(관광·어업)와 갈등이 가시화되고 있음을 지적하였다. 동해중부권은 영덕군 영덕읍 창포리 해역에 2020년까지 해상풍력발전단지(100MW) 조성 후 단계적 확장 추진에 따라 영덕군 풍력발전(해상, 육상) 반대 공동대책위원회가 구성되어 활동하고 있으며, 유전개발을 위한 시추(제6-1광구, 제8광구) 및 메탄하이드레이트 채굴(제8광구) 등 광물자원 탐사 및 채광사업으

로 향후 갈등 발생 등 해상풍력단지 조성 및 해저광물 자원 채굴에 따른 갈등 발생을 우려하였다. 또한, 동해 EEZ에서는 울산 앞바다 동해 가스전 인근 해역(수심 150m, 면적 1,107km<sup>2</sup>)에 민간 주도 1GW급 부유식 해상풍력단지(100~200기 규모) 개발계획이 있어 이에 대한 원활한 합의가 필요함을 언급하였다.

Table 5 해양공간관리 기본계획에 따른 권역별 구분 및 현안

해역명	해양공간	현안
서해 중부	인천 경기 충남	해양에너지 개발수요 충족공간 제한
		EEZ 및 연안의 해사 채취 지속
		갯벌 및 물범 보호 수요와 이용개발 갈등
		항만 및 마리나 증가로 안전사고 우려 등
남해 서부	전북 전남 제주	해양에너지 개발수요 충족공간 제한
		항만개발에 따른 해양환경 변화
		양식 및 조업 활동 여건 악화
남해 동부	부산 울산 경상	<b>해상풍력 발전단지 대형화 및 갈등 확대</b>
		연안개발 수요 증가로 가용공간 축소
		외해 양식장 개발 등 보전적 이용수요 충족 필요 등
동해 중부	강원 경북	<b>해상풍력발전단지 조성, 광물자원 채취 갈등 상존</b>
		해양관광 인프라 개발에 필요한 합리적 공간할당
		어장환경 복원 및 양식에 필요한 공간 수요 충족
EEZ	서해 남해 동해	골재채취단지 지정 연장 등에 따른 갈등
		관할 EEZ의 관리와 해양생물보호 공간관리
		<b>동해 가스전 개발 및 해상풍력발전단지 조성사업 추진</b>

Source : MOMAF(2019).

### 3) 해양공간 특성평가

해양공간계획법 제13조(해양공간특성평가의 실시)제1항에 의하면 ‘해양용도

구역의 지정·변경을 위하여 해양공간의 자연적 특성, 입지 및 활용 가능성 등에 대한 해양공간특성평가를 실시하여야 한다' 라고 명시하고 있다. 이에 따라 해양수산부는 해양용도구역의 지정·변경을 위하여 해양공간의 자연적 특성, 입지 및 활용 가능성 등에 대한 해양공간특성평가를 실시함에 있어 해양공간정보를 활용한 특성평가 내용 및 절차에 관한 사항을 정하는 해양공간특성평가(해수부고시 제2019-76호) 지침을 발간하였다.

동 지침에 의하면 해양공간특성평가는 Fig. 9와 같이 해양공간특성평가 준비에서 해양공간 상층분석까지 총 4단계로 구분하여 실시하도록 하고 있다.



Fig. 9 해양공간특성평가 절차

① 해양공간특성 평가준비 단계에서는 특성평가 대상 해역 설정, 주요 해양활동 도출, 핵심 해양활동 선정, 평가항목 정의 과정을 수행함으로써 해양공간 특성평가의 방향을 제시하도록 하였다. ② 해양공간정보수집처리 단계에서는 자료조사 및 수집, 자료 가용성 및 신뢰도 검토, 분석 활용자료 선정, 자료변환 및 처리 과정을 수행함으로써 특성평가 대상 해역에 관련된 해양공간정보를 수집하고 특성평가에 활용할 수 있는 형태로 변환 및 처리하도록 하고 있다. ③ 용도구역별 특성평가 단계에서는 대상 해역 격자구성, 공간정보 격자화, 평가항목별 점수지도 제작, 용도구역별 공간특성 평가지도 제작 과정을 수행함으로써 특성평가 대상 해역을 대상으로 공간분석을 실시하고 공간특성 평가지도를 제작 및 제공하도록 하였다. ④ 해양공간 상층분석 단계에서는 용도구역별 공간특성 평가지도 중첩을 통한 상층분석, 특성평가 및 상층분석 결과 관리 과정을

수행함으로써 특성평가 대상 해역 내 해양활동의 상충 공간 및 상충 요인을 식별하도록 하였다.

특성평가 절차 1단계인 해양공간특성평가준비의 평가항목 정의 중 본 연구의 핵심인 울산 해상풍력발전단지와 관련한 평가방법을 살펴보면, Table 6과 같이 용도구역은 에너지 개발구역이며, 핵심 해양활동은 에너지시설 예정단지에 해당한다. 또한, 평가항목은 해상 에너지시설 예정단지이고, 평가방법은 정성적 평가를 실시하도록 지침은 정하고 있다.

Table 6 해상풍력발전의 평가방법

용도구역	핵심 해양활동	평가항목	비고
에너지 개발구역	해양에너지시설	에너지시설 (조류, 조력, 파력, 해상풍력)	정성
	에너지시설 예정단지	해상 에너지시설 예정단지	정성
	해양에너지 자원부존	에너지 부존밀도지역 (조류, 조력, 파력, 해상풍력)	정량

### 2.3.3 우리나라 해양공간관리의 한계 및 문제점

우리나라도 해양공간계획을 위한 법률, 제도 등이 마련되어 있고, 국가적 차원에서 해양공간기본계획을 수립하여 시행하고 있지만, 해양공간관리를 시작하는 단계이다 보니, 그에 따른 문제점도 발생하고 있다. 정부는 해양공간기본계획에서 우리나라 해양공간관리의 한계와 문제점을 다음 5가지로 제시하였다 (MOMAF, 2019).

첫째, 부처별 해양공간의 이용·보전 및 개발의 선점과 통합적 관리수단의 부재이다. 이는 해양공간 보전·이용·개발 범위와 영역의 확대로 다양한 해양활동이 증가하였고, 이로 인해 타 분야의 해양활동에 의도하지 않은 피해가 발생하고 있다. 또한, 해상풍력·자원개발 등과 같은 고정적, 점유적 이용 형태의 신규 해양활동과 해양공간 보전·이용·개발 영역 확대로 다양한 수요의 상충

과 갈등이 발생하고 있지만, 해양특성 및 해양활동의 검토, 협의 및 조정 절차 등의 부재로 타 분야와의 영향과 상충을 고려하기 어려운 실정이다.

- 
- 1 부처별 해양공간의 이용, 보전 및 개발의 선점과 통합적 관리수단 부재
  - 2 해양공간정보 부족 및 생태적 가치 평가 적용의 한계
  - 3 해양생태계서비스 및 미래 가치 고려를 위한 조사, 정보 및 평가 체계 미비
  - 4 개별 기관에서 생산된 정보의 구축 방법, 목적, 형태가 다르며 접근, 활용이 어려움
  - 5 해양공간 통합관리에 대한 인식 부족 및 계획수립의 이해관계자 참여 기반 미흡

Fig. 10 우리나라 해양공간의 한계와 문제점

둘째, 해양공간정보 부족 및 생태적 가치평가 적용의 한계이다. 해양공간정보 수집은 부문별 법정조사 혹은 기관의 고유 사업에 의존하지만, 영해에 집중되어 EEZ의 정보는 미흡하였다. 특히 최근 해양위성, 자율무인잠수정(AUV) 등 광역 원격탐사장비를 통한 정보 확보 방법을 추진하고 있으나 해양생태계 정보는 미비하다는 것이다. 실제로 주요 법정조사 정점 5,409개 중 74% 이상이 내수에 위치하며, EEZ에 위치한 정점은 9% 수준이며, 그마저도 대부분 골재자원 조사에 집중되고 있음이 확인되었다.

셋째, 해양생태계서비스 및 미래 가치 고려를 위한 조사·정보 및 평가체계가 미비하다. 해양공간이 주는 혜택과 그 혜택을 얻기 위한 해양활동이 환경·

생태계에 미치는 영향 및 상호작용을 평가할 수 있는 평가체계가 미비하며, 해양공간 및 해양생태계 정보가 부족하여 이용·개발행위의 가치가 상대적으로 고평가된다.

넷째, 개별기관에서 생산된 정보의 구축 방법·목적·형태가 다르며, 접근·활용이 어렵다. 개별기관의 무분별한 데이터의 구축 방법, 목적, 형태와 관련하여 어업활동 분석, 수산자원과 어업활동 공간정보의 불확실성 관리방법 등 질적 차이가 발생함에 따라, 해양공간정보의 확보와 활용시스템 구축과 더불어 확보된 정보의 품질관리에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다.

다섯째, 해양공간 통합관리에 대한 인식 부족 및 계획수립의 이해관계자 참여가 미비하다. 해양관련 현행 법체계에서는 이해관계자의 참여 대상이 주로 중앙 또는 지방 행정기관 위주로 제한적이며, 특히 지역주민이나 전문기관 참여 기반이 미흡하고, 해양공간 관련 계획수립 시에도 해양공간과 관련한 이해관계자와의 의견수렴 체계 부족, 심의기관의 다양화, 심의기관 간 교차협약이 부족하기 때문에 해양공간 활용에 대한 갈등이 지속되고 있다.

## 제 3 장 해상풍력발전과 해양환경영향

### 3.1 해상풍력발전

풍력발전이 급성장하고 있는 것은 풍력자원이 방대하고, 다른 신재생에너지에 비해 풍력에너지 기술이 크게 성숙하고 있기 때문이다. 이러한 이유로 교토의정서에서 풍력에너지를 중요한 대안으로 채택한 이후 풍력에너지가 대표적인 신재생 전력으로 각광을 받고 있다.

최초의 해상풍력터빈은 1990년대 스웨덴에 설치된 220kW 발전용량의 터빈이다. 이 터빈은 해안에서 350m 떨어진 곳, 수심 6m 바닥에 삼각대 구조물로 지지하는 형식의 풍력발전기이다. 1991~1998년 사이에 여러 종류 모델에 대하여 소용량 실증 프로젝트가 수행되었다. 발전기 용량은 450~500kW급이고, 해안에서 4km 떨어지고 수심 6m 위치에 설치하였으며, 실증 결과는 발전 수익성과 신뢰성을 입증하였다. 이후 수MW 풍력발전기에 대한 실증 시험이 실행되었으며, 2000년에 스웨덴의 우트그룬덴 프로젝트에서 최초로 상업적 발전단지의 가능성을 입증하였다. 그 후 해상풍력 에너지가 중요한 에너지로 더욱 각광받기 시작하였다(Na, 2016).

2007년 세계 풍력에너지는 총 발전 전력의 약 1%이고 대부분 육상풍력이었다. 2018년 기준 해상풍력은 Fig. 11과 같이 4.5GW 수준이었지만 지속적으로 확대되고 있는데, 그 요인은 육상에 비해 설치공간이 여유롭고, 환경에 대한 영향이 적고, 정부지원이 뒤따르기 때문이다.

육상풍력 대비 해상풍력의 장점은 다음과 같다. 첫째, 해안에서 멀어질수록 풍속이 높고 바람이 균일하기 때문에 풍력발전기의 수명이 증대된다. 둘째, 해수면 위 난류층의 높이는 지상에서 난류층의 높이보다 낮으므로 풍력터빈이 설치되는 위치에서 바람의 품질이 우수하다. 셋째, 해상풍력발전단지는 설치공간이 넓고, 블레이드 속도증가에 따른 소음이 증가해도 주민 민원의 소지가 훨씬 적어지므로 더 큰 용량의 풍력터빈을 설치할 수 있다. 넷째, 육상풍력 대비 입

지제약에서 자유롭게 때문에 대형화로 높은 이용률 확보가 가능하다. 다섯째, 해상풍력 기초구조물은 인공어초 역할이 가능하여 어족자원 확대가 가능하고, 해상발전소 주변 지역의 수산업 개발이 가능하며, 해양레저, 관광단지 개발 및 육성을 통해 지역경제 활성화에 긍정적 영향을 줄 수 있다(Table 7 참조).



Fig. 11 세계 해상풍력발전 규모

Source : Global Wind Report 2018.

한편, 육상풍력 대비 해상풍력의 단점은 다음과 같다. 첫째, 설계, 설치 및 운전비용이 더욱 많이 소요된다. 육상풍력에서 터빈발전기 비용은 총 건설비용의 75% 수준인데 해상은 약 33% 수준이다. 둘째, 해상풍력은 전력망 연결 길이가 더 길고 보강이 필요하기 때문에 건설 및 연결비용이 훨씬 많이 소요된다. 셋째, 해상풍력은 부하가 높고, 부식 등 해양조건을 만족하여야 하고, 기초건설 난이도 및 운용 측면에서 더 높은 수준의 기술이 필요하다. 넷째, 해상풍력은 건설-운영-해체단계에서 각종 해양환경 문제를 발생시킬 수 있다(3.2 참조).

Table 7 육상풍력과 해상풍력 특징

구분	육상풍력	해상풍력
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바람을 이용하여 환경오염 및 고갈염려 없음</li> <li>• MW당 약 5,000㎡의 면적이 소요되며, 발전단지 내 기타면적은 목축, 농업 등 타용도로 이용가능</li> <li>• 산지에 조성되는 진입 및 관리도로는 산림관리를 위한 임도로 활용 가능</li> <li>• 일부 단지는 관광자원화를 통해 지역경제 활성화로 이루어지고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해상풍력의 기초구조물 설치 방식에 따라 고정식/부유식으로 구분</li> <li>• 육상풍력 대비 입지제약에서 자유롭고, 대형화로 높은 이용률 확보 가능</li> <li>• 해상풍력 기초구조물의 인공어초 역할이 가능하여 어족자원 확대</li> <li>• 해상발전소 주변 지역 수산업(바다목장, 양식장 등) 개발 가능</li> <li>• 해양레저, 관광단지 개발 및 육성을 통해 지역경제 활성화 가능</li> </ul>
사진		

해상풍력발전의 종류는 설치하는 방법에 따라 종류와 크기가 결정된다. 결국, 해상풍력발전의 핵심은 해상기초구조물이라 할 수 있다. 터빈의 크기가 커짐에 따라 그에 따른 하중이 증가하게 되고, 발전기를 안정적으로 지지할 수 있는 해상기초구조물의 설치가 해상풍력발전의 성공을 결정한다고 할 수 있다.

해상기초구조물의 종류는 Fig. 12와 같이 크게 고정식과 부유식으로 구분할 수 있다. 기존에 개발된 해상풍력발전은 비교적 낮은 수심인 60m 이하에 조성되었기 때문에 대부분 고정식 구조물의 형태를 가지고 있다. 고정식 구조물은 심도를 포함한 해상환경에 따라 중력식, 모노파일, 자켓 형식으로 분류된다. 고정식 구조물은 구조물이 해저면에 고정되어 있어 유리한 조업조건을 제공하나

수심이 깊어지면, 구조물의 규모가 커지고 피로파괴의 위험성이 증가하여 60m 이상의 심도에서는 설치가 어렵다.

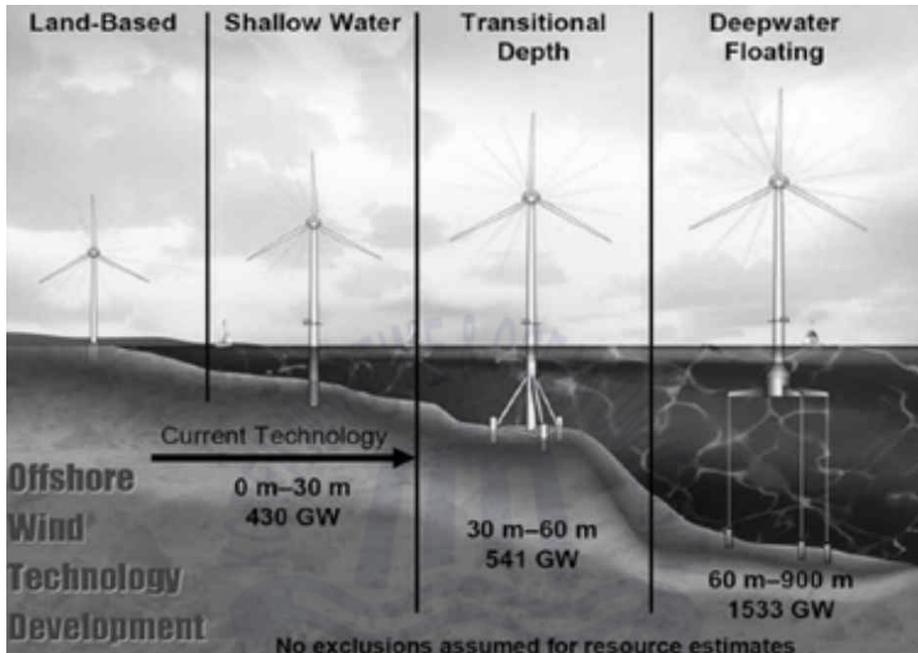


Fig. 12 해상풍력발전 해상기초구조물의 종류

Source : Global Wind Report 2018.

최근에 설치 중이거나 설치계획이 있는 해상풍력발전은 깊은 수심에 설치될 예정이다. 부유식은 수심이 깊어져도 구조물의 크기에 제한을 받지 않으나 수면에 떠 있기 때문에 구조물의 6자유도 운동으로 환경하중에 대응하게 되며, 6자유도 운동과 비선형 표류운동으로 인해 조업조건이 불리하고 별도의 장치를 이용하여 운동을 억제하여야 하는 어려움이 있다.

## 3.2 해상풍력발전단지의 해양환경문제

해상풍력은 풍황이 육상보다 우수하고 민원발생의 소지가 적다. 그러나 해상풍력이 직접적으로 사람에게 영향을 줄 가능성은 육상보다 줄기는 했지만 환경에 미치는 영향은 여전하거나 더 다양해졌다고 할 수 있다. 해양은 해수면 위는 물론 수면 아래 해양환경에 다양한 방식으로 영향을 미치기 때문이다(KMI, 2011). 따라서 본 절에서는 해상풍력단지 건설-운영-해체단계까지의 해양환경영향을 논하고자 한다.

### 3.2.1 해상풍력발전 건설단계

해상풍력발전의 발전 방식은 앞 절에서 언급된 바와 같이 해저에 고정하지 않은 부유식도 있으나, 대부분 해저에 시설물을 설치하거나 파일(Pile)을 박아 풍력시설 자체를 고정한다. 또한, 풍력발전에서 나온 전기를 육상으로 인입하는 해저전력선을 놓게 되므로 해저는 영향을 받는다. 해상풍력 발전을 건설하기 위해서는 건설의 대상이 되는 해저면의 지형과 조류패턴의 변화가 발생하게 되고, 서식하던 동식물은 우선적으로 제거되며, 주변지역은 부유사<sup>3)</sup> 등으로 변화 등 생태계에 영향을 미쳐 서식환경의 변화가 예상된다. 즉, 시설물이나 조류의 변화에 따라 퇴적물의 이동과 퇴적에 변화가 생기거나, 오염물질이 재부유 되는 등의 변화로 예측이 매우 어려운 특징이 있다. 반면 파일을 설치할 때 필요한 면적만큼 저질을 교란하기는 하지만 넓은 면적에 영향을 주는 것은 아니다. 오히려 해상풍력발전이 건설되면 주변 해역에서 어업활동이 정지되므로 해저 교란을 방지하는 긍정적인 효과를 낼 수도 있다.

또 하나의 문제는 풍력발전기의 운영에서도 문제가 되는 부분이기도 하다. 공사에 투입되는 건설장비나 파일 등의 시공과정에서 소음과 진동의 문제가 발생할 수 있다. 공사 중 발생하는 소음과 진동은 해양포유류 및 어류가 서식지를 이동하거나 이동성이 떨어지는 어패류, 해양식물들은 개체수가 감소될 수 있으

3) 부유사(Suspended Solid) : 해상에서 구조물의 설치 및 해체 시 부유토사가 해류를 따라 해역에 확산되면서 발생하는 문제로 주변 환경 요인보다 파랑 및 조류에 의해 결정된다(한국환경정책·평가연구원(2014)).

며, 이로 인해 해양생태계 변형을 통한 상업적 수산업 훼손을 가져올 가능성이 있다(KMI, 2011).

### 3.2.2 해상풍력발전 운영단계

해상풍력 발전을 운영하는 단계에서는 Fig. 13과 같이 10가지 정도의 해양환경 문제가 예상된다.

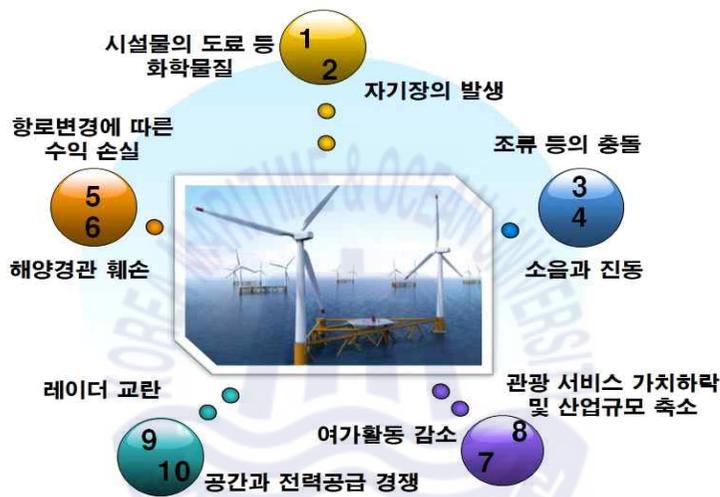


Fig. 13 해상풍력발전 운영단계 시 환경문제

첫째, 해상발전시설 운영 시 필요한 화학물질(방오 도료, 윤활유, 연료, 냉각제 등)이 노출되는 경우 해양생태계에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 특히, 해상에 풍력시설을 도입하면 선박이나 다른 해상시설물과 마찬가지로 발전시설물의 표면에 생물이 부착하거나 녹이 슬어 오손(Fouling)을 입기 쉽다. 이를 방지하기 위하여 방오도료를 사용하게 되는데 방오도료는 시설물 주변 해역에 있는 생물은 물론 해류를 따라 흘러가면서 넓은 영역에 있는 생물에게 영향을 줄 수 있다(KMI, 2011).

둘째, 전력선에서 발생한 자기장은 특히 지구 자기장을 활용하여 이동하는 어류나 해양포유류에게는 교란 요인이 될 수 있다. 또한, 해상풍력발전 개발은

기존 설치된 케이블 및 파이프 라인 이익에 영향을 미칠 가능성이 있다. 이는 풍력발전 케이블 경로가 일부 기존 케이블 위로 교차하는 경우, 해양환경에서 케이블의 일반적인 확산, 특히 해상풍력발전의 결과로 향후 기존 케이블 유지 비용이 증가할 수 있다(The Scottish Government, 2011).

셋째, 풍력발전 운영 시 우려되는 문제 중 하나는 풍력시설의 날개에 새떼가 충돌하는 경우이다. 날씨가 좋지 않을 경우, 새들은 비행고도를 조정하거나 발전단지 외곽으로 비행 행동을 크게 바꾼다. 이는 새들에게 누적된 에너지 사용으로 인한 서식지의 가용성을 감소시킬 수 있다.

넷째, 발전터빈의 수직 구조물을 따라 수중에 전달되는 소음이나 진동은 음파에 민감한 해양포유류에게는 직접적인 영향을 줄 수 있다. 수중 소음이나 진동은 부유 생태계보다 해양포유류, 어류 및 저서생물에 더 큰 영향을 미친다. 해양포유류와 어류는 영향권으로부터 회피하여 서식처의 이동이 가능하지만, 저서생물은 이동능력이 제한되어 소음과 진동에 대한 영향을 더 크게 받을 수 있다(Maeng et. al., 2013).

다섯째, 발전단지는 항로 장애물 역할로 인해 단기적으로는 항해 운송 거리 및 시간을 증가시킬 수 있고, 기존에 추가 운항을 고려하던 항로였을 경우, 항로 배치 계획을 변경해야 하므로 장기적으로 수익손실이 발생할 가능성이 있다(The Scottish Government, 2011).

여섯째, 바다를 볼 때 해상풍력발전단지가 들어선 해양경관(Seascape)은 영향을 받을 수 있다. 새로운 풍력발전단지가 해상에 들어오면 해안에서의 거리나 터빈 개수, 풍력시설에서 밝히는 항로유도등, 항로표지 등에 따라 해양경관에 영향을 미친다. 영국에서는 무역 및 산업부(Department of Trade & Industry: DTI)의 주관으로 시작한 연구를 통해 해양경관에 미치는 영향거리의 임계값을 Table 8과 같이 제시하였다(Wratten et. al., 2005). 하지만, 해상풍력발전단지가 해양경관에 미치는 영향을 판단하는 것에는 개인의 주관적인 성향이 반영되는 특성으로, 개인이 처한 환경, 상황 등을 고려했을 때, 풍력발전이 해양경관에 미치는 영향이 항상 부정적이지는 않다.

Table 8 해양경관에 미치는 영향의 임계값

Distance	Impact on landscape
< 13 km	Major visual impact
13~24 km	Typical visual impact
> 24 km	Seldom visual impact

일곱째, 보트 안전성의 문제와 운영비용 증가, 경치 상실결과로 인한 경제성 하락으로 여가활동 감소를 가져온다. 여가활동으로써 낚시에 미치는 영향은 해상풍력시설의 건설 또는 운영 중 발생하는 물리적 영향(소음, 진동, 탁도 또는 전자기장 증가)이 어류 서식량에 영향을 미칠 수 있고, 안전상 이유로 발전단지 내 바다 낚시터 접근 감소가 발생할 수 있다.

여덟째, 발전단지 설립에 따른 자연경관 질의 감소와 해양 야생동물에 대한 관심 감소 등으로 관광 서비스의 가치가 하락하고, 결과적으로 관광 산업규모가 축소될 수 있다(The Scottish Government, 2011).

아홉째, 풍력발전단지가 비행경로 상에 있거나 근접비행 시, 항법 레이더 시스템과의 간섭(항공기의 충돌위험은 대략 6,000m~10,000m의 고도를 비행하는 여객기보다는 작전 수행을 위해 저고도를 비행하는 헬리콥터나 초경량 비행장치에 더 직접적인 영향을 미친다.) 때문에 비행기들은 충돌위험이 증가할 수 있어 이동 경로 변경 및 군사작전을 방해할 가능성이 있다(The Scottish Government, 2011).

열째, 해상풍력발전단지 개발은 자원이 중복되는 영역에 대한 공간경쟁과 전력 공급 경쟁 또는 구조물로 인한 파도와 조력 자원량 변화를 통해 파도와 조력 개발에 영향을 미칠 수 있고, 이는 파도와 조력 발전의 발전과 이행 속도에 영향을 미칠 수 있다. 경쟁 에너지 분야이지만, 장기적으로 해상풍력과 함께 미래 에너지 공급원이 될 파도와 조력 기술의 발달을 막아서는 안 된다(The Scottish Government, 2011).

### 3.2.3 해상풍력발전 해체단계

해상풍력발전 시설의 수명은 약 20년 정도이다. 수명을 다한 발전시설은 중앙의 말뚝 구조물부터 시작하여 터빈, 날개 그리고 육지로 전기를 인입하던 전력선까지 모두 철거해야 한다. 특히, 해저에 박아 넣은 구조물은 적어도 지하 3m 깊이까지는 구조물을 제거해야 한다. 기초공 등을 제거하는 작업은 앞에서 언급한 건설단계 시 고려했던 영향과 대부분 유사하다.

해상풍력발전의 건설-운영-해체단계의 항목들을 살펴보면, 해상풍력발전으로 인해 여러 분야에 부정적 영향이 발생할 가능성이 있다는 것이 확인되었다. 이는 상업적 수산업 뿐 아니라, 해양생태계, 복지 훼손까지 확대되어 해당 해역에서 다양한 이해관계자들 간 갈등을 유발할 것이다.



### 3.3 해상풍력발전단지의 환경영향 평가

#### 3.3.1 해상풍력발전의 환경영향 평가사례 분석

##### 1) 해양공간계획이 고려된 해상풍력발전 설립

2001년 미국 Massachusetts 주, Nantucket Sound 지역에 대규모 풍력발전단지를 설립하는 ‘Cape Wind Project’가 제안되었다. 이 계획이 발표되자, 개발자들과 환경단체 및 지역주민들은 끊임없는 갈등으로 사업이 중단될 위기에 처하게 되었다. 갈등 요소들은 Table 9와 같다(Cassandra Love, 2014).

Table 9 Cape Wind Project의 갈등 및 대안

구분	갈등 요소
에너지관리 회사	실제 개발이 시작되기 전 많은 자본 투자
전력공급 기업	케이프 풍력이 발생시킬 것으로 예상되는 전기의 구매자 확보

Wampanoag 부족	개발지역 신성한 땅으로 보전(일출의식의 길)
영구 거주자	풍력터빈의 가시성이 관광에 부정적 영향
휴가용 주택 소유자	풍력터빈의 소음공해 및 아름다운 경치 보존 요망
연방정부	풍력을 포함한 재생에너지 옹호
야생동물 보호자	보호대상(바다거북 등 4종) 멸종위기 및 야생동물들에게 부정적

갈등해소	10년간 타협 및 해결책(모니터링, 환경영향 연구, 설치계획 조정, 안정적 전기가격 보장 등) 제시
------	---

첫째, 해상풍력발전소를 통해 재생에너지 용량 확장을 계획하던 미연방정부는 재생에너지 생산을 위해 연안과 토지의 사용을 옹호해왔던 입장이었다. 둘째, 개발자 입장은 사업계획에 이미 투자된 자본이 있으며, 투자금 회수를 넘

어, 이익 실현을 위해 Cape Wind Project가 진행되어야 한다고 주장하였다. 셋째, Nantucket Sound는 자연경관을 이용한 관광산업이 유명한 곳으로 해당 지역주민들은 해상풍력발전단지 설립으로 인해 시각적 훼손을 가져올 것이고 이는 관광산업에 부정적인 영향을 미칠 것이라 예상하였다. 넷째, 야생동물 보호론자들은 Cape Wind Project가 Nantucket Sound 주변에 서식하는 멸종위기 동물들에게 미치는 부정적인 영향을 우려하였다.

Cape Wind Project는 해당 구역을 에너지개발구역으로 사용하고자 하는 그룹과 관광산업 및 해양생태계 보존구역으로써 가치를 높게 평가하는 그룹 간 갈등이 발생한 사례이다. 재생에너지 사업을 지지하는 미연방정부는 이러한 갈등 문제를 해결하기 위해 해양생태계를 보호하면서도 풍력발전단지 건설이 가능한 해양공간계획을 통해 최적의 해역을 선정하였다. 또한, 환경영향 연구수행과 지속적인 환경 모니터링을 통해 환경 보호단체들이 우려한 해상풍력발전단지가 미치는 부정적인 영향을 최소화하고자 노력하였다. 이러한 이해관계자들 간 설득과 갈등 경감을 통해 Cape Wind Project는 2010년 시행될 수 있었다. Cape Wind Project 사례를 통해 해상풍력발전단지가 들어설 해역은 에너지개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계 관리구역 등 다양한 용도구역의 이해관계가 상충하고 있음이 확인되었다. 이러한 해상풍력발전단지 설립으로 발생할 수 있는 이해당사자 간 갈등을 최소화하기 위해, 해당 해역에 대한 가치평가는 합리적이고, 객관적인 방법이 제시되어야 할 것이다.

## 2) 해상풍력발전단지 설립으로 인한 환경영향평가 연구

CVM을 통해 환경비용을 추정한 연구사례를 살펴보면, 설문 결과의 통계분석을 통해 지불의사 한계금액(연간소득세)을 설정하였다. 청사포 해상풍력발전단지 설립으로 발생하는 환경 영향으로 시각적 효과와 해양생물 감소를 설정하였으며, 이를 연간소득세 인상을 통해 줄이기 위한 지불의사 한계금액으로 정의하였다. 환경비용을 결정하는 속성은 Table 10과 같다(Kim et al., 2019).

**Table 10** 청사포 해상풍력발전 환경비용 결정 요소

구 분	내 용
육지로부터 거리	해상풍력발전 터빈에서 육지까지 거리(km)
해상풍력발전 면적	해상풍력발전 터빈의 수(기)
해상풍력발전 터빈높이	해상풍력발전 터빈의 수면상 길이(m)
해양생물 감소	해상풍력발전 터빈의 설치 및 작동으로 인해 현재 상태에서 해저생물, 어류, 포유류 및 조류 개체 수가 감소함(%)
가격	가구당 연간소득세 인상을 통한 해상풍력발전의 환경비용 절감에 대한 지급 의향(원)

Source : Kim et al., 2019.

상기 연구사례의 환경비용은 8월 한달동안 무작위로 선정된 1,000가구의 응답자 설문통계분석을 통해 추정되었으며 설문조사는 개인 의사가 반영된 과정이라 할 수 있다. 비용 추정 측면에서는 자연경관의 훼손과 해양생태계 훼손 요소 등 한 가지 이상의 요소가 한 번에 적용되었다.

이러한 CVM은 사람들이 비시장 재화에 매기는 가치를 직접적 질문을 통해 이끌어내는 기법이다. CVM은 미시경제학 및 후생경제학에 뿌리를 두고 있으며, 적용 대상에 대한 제약이 없어서 현시 선호 평가법 적용이 어려운 대상도 적용가능하다. 하지만 CVM은 설문조사를 진행하는 데 있어 물리적 시간이 소요된다. 또한, 가상시장을 생성하고 그에 대한 지불의사를 질문할 때, 개인의 특성(소득 수준, 성별, 교육수준, 연령 등)에 따라 편차가 나타날 수 있다. 더불어 질문내용을 구성할 때, 지불 수단과 기간의 적절한 선택, 지불 원칙의 설정, 지불의사 유도방법의 결정 등에 대한 불필요한 논란을 방지하기 위해 충분한 연구가 이뤄져야 한다(Hong et al., 2014).

### 3) 기타 관련연구

해상풍력은 육상풍력과 비교해 풍황이 우수하고 발전단지와 거주지 간 거리

가 있어 민원 발생 가능성이 작다. 하지만, 해수면 위는 물론 수면 아래 해양환경에 다양한 방식으로 영향을 주기 때문에 환경에 미치는 영향은 여전하거나 더 다양할 수 있다. 이러한 해상풍력발전단지 설립으로 발생할 수 있는 환경문제들에 대한 선행연구들의 기타 사례를 보면 다음과 같다.

맹준호 등(2013)은 국외 해상풍력발전사업 시 환경영향평가 내용 및 운영 중인 해상풍력 모니터링 자료를 활용하여 해양생물에 미치는 영향 등을 분석하였고, 이를 근거로 국내 현황에 적합한 환경영향평가 단계에서의 가이드라인을 제시하였다.

한국해양수산개발원(2011)은 해상풍력이 해양환경에 미치는 영향 및 현재 국내의 기술수준 하에서의 경제적 타당성에 대해서 살펴보았다. 또한, 국외 해상풍력 건설운영 사례에 대한 분석을 통해서 해양환경영향평가의 내용과 소음과 진동, 해양물리 및 퇴적환경 변화, 어업환경 변화 및 영향, 경관 영향, 해양생태계 영향, 바닷새 이동 및 서식환경 변화에 대한 내용을 분석하고자 하였다. 또한, 해상풍력의 타당성을 검토하기 위해 국내에서 수행된 타당성 분석사례를 소개하고 사회경제적 영향에 대해 논의하였다.

한국환경정책·평가연구원(2014)은 해양에너지계획에 대한 전략환경평가의 도입과 운영을 위한 관련 법령 및 기준의 현황, 문제점과 개선 방안 등을 파악하고, 환경을 고려한 입지선택 전략 및 입지 타당성 검토 방안 등과 같은 전략적 문제들을 논의하고자 하였다. 특히 해상풍력발전사업을 중심으로 최근 활발히 논의되고 있는 GIS(Geographic Information System)를 활용한 해양공간계획 기법을 해양에너지 개발에 적용시켜 환경성을 고려한 입지선택 전략 및 입지 타당성 검토 방안을 모색하고자 하였다.

Luke F. et al.(2014)은 해상풍력발전의 타당성 분석을 시행하기 위해 이해관계자의 인식, 해상풍력발전단지 개발 잠재력과 상충되는 용도에 대한 공간분석 및 정부 및 지역의 허용 기준분석을 하였다.

The Scottish Government(2011)는 해상풍력발전단지 설립이 9가지 영역에 미치는 단기적 영향을 제시하였고, 여러가지 중장기적 옵션과 함께 해상풍력발전

단지 사업 진행예정지에 대한 전략적 개요를 제공하고자 하였다.

Bailey et al.(2014)은 해양 생물종에 대한 연안풍력발전의 잠재적 영향에 대해 간략하게 검토하였다. 주로 해양포유류와 바닷새에 초점을 맞추고 있는 유럽의 다른 연구사례 확인을 통해 연안풍력에너지와 관련하여 수행된 많은 환경 연구는 해양포유류의 음향 노출에 의한 영향과 해조류용 터빈과의 충돌위험을 우려하였다. 해상풍력에너지의 구현이 아직 초기 단계에 있는 국가에서 개발에 참여하는 규제자, 개발자 및 연구자를 지원하기 위한 향후 연구권고안을 제시하였다.

지금까지 언급한 선행연구 사례의 해양환경영향요소를 분석하면 Table 11과 같다.

**Table 11** 선행연구 사례를 통한 해양환경영향요소 분석

논문	평가 방법(특징)	환경영향요소
맹준호 등 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양생물에 미치는 영향에 대한 정 성적 평가</li> <li>· 행동 관측· 샘플링· 기존자료가 반영된 모델링을 통한 미래 상황예측</li> <li>· 환경 모니터링을 통한 환경 현황인지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해저지형 변화</li> <li>· 수중 소음 및 진동</li> <li>· 해저케이블 주변 전자기장</li> <li>· 화학물질에 의한 악영향 등</li> </ul>
한국해양수산 개발원 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 순환가법, 내부수익률</li> <li>· 편익-비용비율 분석을 통해 해상풍력발전의 경제적 타당성 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해저지형 변화</li> <li>· 수중 소음 및 진동</li> <li>· 해저케이블 주변 전자기장</li> <li>· 화학물질에 의한 악영향 등</li> </ul>
한국환경정책 평가연구원 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양환경 및 수산관련 법률 해석을 통한 제한사항 파악,</li> <li>· 해양공간정보를 수집하고 이를 GIS에 활용해 입지 타당성 분석법 제시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해저지형 변화</li> <li>· 수중 소음 및 진동</li> <li>· 화학물질에 의한 악영향</li> <li>· 전자기파 교란 등</li> </ul>
Luke F. et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양공간 내 이해충돌 가능성 우선 순위 가중치를 GIS DATA로 환산하여 입지 타당성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수중 소음 및 진동</li> <li>· 해저케이블 주변 전자기장</li> <li>· 조류충돌 등</li> </ul>
The Scottish Government (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설문 조사</li> <li>· 시나리오 별 제시된 정량적 데이터를 적용하여 비용-편익 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해저지형 변화</li> <li>· 해양경관 훼손</li> <li>· 어획활동 금지 등</li> </ul>
Bailey et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· BACI 설계를 통한 특정 면적 내 해양 생물 밀집도 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조류충돌</li> <li>· 어획활동 금지 등</li> </ul>

### 3.3.2 환경영향평가를 고려한 풍력발전단지의 경제적 가치추정법

#### 1) 개요

앞서 정리한 해상풍력발전단지 설정에 따른 환경문제의 결과인 해양생태계의 변형과 손실, 복지(바다경관 등) 훼손 등은 피해액을 추정하기가 쉽지 않다. 이들은 모든 사람들이 공동으로 이용할 수 있는 공공재이자, 천연자원을 소비하는 환경재이기 때문이다. 공공재 성격을 가진 환경재 및 서비스는 소유권이 명확하지 않고, 일반 시장에서 거래되지 않아 적정가격(또는 가치)을 추정하기가 어렵다. 따라서 피해를 입은 각각의 환경재 및 서비스가 가진 전체 경제적 가치(Total Economic Values: TEV)에 대한 이해가 우선되어야 한다. 그리고 이러한 경제적 가치를 정량적으로 평가할 수 있는 방법론의 도입이 필요하다(Kim, 2016). 개발이나 사고로 피해를 입은 환경 및 천연자원에 미치는 영향평가 시, 시행되어야 할 TEV의 분류와 그 유형에 대한 내용은 Table 12와 같다.

Table 12 가치 유형의 분류

사용 가치	Direct use value (직접적 사용가치)	생물 다양성의 직접적 이용에 따른 결과	
		소모적	농작물, 가축, 야생식품, 수산자원의 어획
		비소모적	여가, 문화적 행복, 교육
	Indirect use value (간접적 사용가치)	생물의 종과 생태계로부터 파생되는 서비스 (해충 방제, 수분작용, 수질 정화, 토양 비옥화)	
	Option value (선택가치)	향후 생태계 서비스의 가용성에 사람들이 부여하는 중요성에 따라 미래에 사용 가능성이 있음 (미래에 사용 가능성이 있는 세일가스 등)	
비사용 가치	Bequest value (미래세대 가치)	미래세대도 생태계로부터 이익을 얻을 수 있는 가치	
	Altruist value (현세대 가치)	현세대가 생태계로부터 이익을 얻을 수 있는 가치	
	Existence value (존재가치)	사용하지 않더라도 생태계가 존재하는 것에 가치를 부여하여 보전하려는 것에 목적이 있음	

Source : Unai Pascual et al., 2010.

위에서 정의된 환경재에 대한 TEV의 정량적인 추정은 비시장재로써 직접적인 시장가격을 찾을 수 없기 때문에 환경재의 가격이라 할 수 있는 경제적 가치를 평가할 수 있는 방법론(Economic Valuation Methods: EVM)을 도입해야 한다는 주장도 있다(Pascual et al., 2010). 이러한 경제적 가치의 추정은 정량적이고, 객관적인 자료를 통해 명확하게 이뤄졌을 때, 이해당사자들 간 갈등이 해소될 수 있다.

## 2) 풍력발전단지의 경제적 가치추정법

환경에 대한 경제적 평가법은 Table 13과 같이 크게 두 가지 그룹으로 나눈다. 첫 번째는 경제적 가치추정 접근법이다. 경제적 가치추정 접근법은 현시선호(Revealed Preference) 평가법과 진술선호(Stated Preference) 평가법으로 구분한다.

Table 13 경제적 가치 방법론

Economic Valuation Methods			
Economic Valuation Approach			Compensatory Replacement Cost Approach
Revealed Preference (Existing Market)	Revealed Preference (Surrogate Market)	Stated Preference (Hypothetical Market)	Resource Equivalency Analysis(REA) / <b>Habitat Equivalency Analysis(HEA)</b>
Market Pricing Method(MPM) (Commercial fish price)	Travel Cost Method(TCM) / Hedonic Pricing Method(HPM)	Contingent Valuation Method(CVM)	

현시선호 평가법은 사람들의 경제활동으로 나타난 결과를 선호로 보고, 이 정보를 이용하여 비시장 재화의 가치를 간접적으로 추정한다. 반면 진술선호 평가법은 가상의 거래를 받아들일도록 이어 질문을 하고 마지막 단계에서 선호를 진술하도록 질문을 하여 응답한 자료를 분석함으로써 응답자의 가치평가

결과를 도출하는 것이 일반적이다.

현시 선호 평가법은 직접적 시장가격이 존재하는 경우와, 간접적 가격상승효과를 비교해보는 방법으로 나뉜다. 실질적으로 환경재(e.g. 상업적 수산자원)에 대한 시장이 존재(Existing Market)하는 경우, 그 시장가격을 직접 대입하는 방법(Market Pricing Method, MPM)과 직접적인 시장은 존재하지 않지만, 환경재 관련 시장(Surrogate market)이 존재할 경우, 해당 환경재(e.g. 해수욕장)를 이용하기 위하여 소요된 여행시간과 비용(Travel time and cost)을 환경재를 위해 기꺼이 지불 할 의사 (Willingness To Pay, WTP)로 간주하고 이 비용을 가치로 추정하는 방법(Travel Cost Method, TCM), 그리고 환경재의 가치를 관련 시장 재화의 가격상승(e.g. 인접 해수욕장으로 인한 아파트 가격상승) 효과로 추정하는 방법(Hedonic Pricing Method, HPM)이 있다. 반면, 습지나 해양생태계와 같이 직간접적으로 관련된 시장 재화가 존재하지 않거나 비시장가치를 추정할 경우, 환경재에 대한 선호(Preference)가 반영된 가상시장(Hypothetical market)에서 환경재의 질적 변화(Quality change)에 대해 인간의 WTP를 설문형식의 방법을 통하여 직접적으로 물어보는 방법인 진술 선호 방법(Stated Preference Method: SPM)으로 조건부 가치추정법(Contingent Valuation Method: CVM)이 있다(KIM, 2016).

두 번째 가치평가방법론은 보상대체비용 접근법(Compensatory Replacement Cost Approach)으로, 피해를 입은 환경재에 대한 충분한 보상을 위한 복원 노력(Restoration efforts)에 소요된 비용을 추정하는 접근법이다. 대표적인 방법론으로는 서식지 등가성 분석법(Habitat Equivalency Analysis: HEA)과 자원 등가성 분석법(Resource Equivalency Analysis: REA)이 있다. HEA는 개발로 피해를 입은 해양생태계가 훼손된 시점에서 피해를 받기 이전의 수준(Pre-damaged level)으로 복원될 때까지 잃어버린 전체 서비스 가치를 동등하게 제공할 수 있는 생태계복원 사업의 크기를 시행하는데 소요되는 복원 비용(Restoration cost)을 해당 생태계 서비스의 가치로 평가하는 방법이다(Kim, 2016).

HEA가 훼손된 곳의 기준이 훼손된 완전한 서식지라면, REA는 주로 개별동물(자원)에 대해 훼손된 수량에 초점을 맞춘다. 교체된 조직들이 손실된 생태학적

및 인적 사용 서비스의 전체 집합을 보상할 것이라는 이론에 따라 동일한 수의 대체 가능한 생물자원을 제공한다. 다만, 환경을 복원하는 데 필요한 대체 조치의 크기와 유형 추정 과정에서 손실된 자원을 대체하거나 필요한 서식지의 추정치로 회귀하는 경우가 많다. 예를 들면, 기름 유출이 오리의 서식지에 무시할 정도의 훼손을 입혔지만, 오리 100마리가 죽는다고 가정한다. 오리들의 수명 이력(예: 연간 생존율, 평균 수명, 평균 발육률 등)에 관한 정보를 이용해 유출로 인한 ‘잃어버린 오리의 시간’을 추정할 수 있다. 이를 통해 오리 등지 서식지를 조성하기 위해 고안된 복원사업을 조사할 수 있고, 그것이 그 사건에서 잃어버린 오리의 시간만큼의 기간을 만들도록 복원사업의 규모를 확정할 수 있는 것이다(Steve Hampton & Matthew Zafonte, 2002).

이처럼 REA는 대체 비용 크기 추정 과정에서 HEA의 서식지를 추정하는 방법으로 복귀하는 경우가 많기 때문에 본 연구에서는 HEA를 대표적인 보상 대체 비용 접근법으로 선택하였다.

앞에서 언급된 CVM을 이용하여 해상풍력발전단지의 경제성을 평가할 수도 있다. CVM은 적어도 손실과 관련된 가격에 대한 정보제공을 목적으로, 시장이 존재하지 않는 경우에 사용되는 유일한 경제적 방법이지만, CVM을 적용할 때 다음과 같은 문제점이 있을 수 있다. 첫 번째, 선호를 나타내려는 응답자의 의사와 능력에 크게 의존하고 있다. 따라서 CVM이 성공적으로 가치추정에 사용되려면 설문지 작성, 설문과정 등 적용과정에서 CVM의 배경 상 논쟁이 되었던 전략적 행위, 가상성, 의향과 행동의 상관관계 등을 충분히 살펴보아야 한다. 이를 통해 응답자의 거짓 진술이나 설문에 대한 이해의 부족, 무응답 등으로 발생할 수 있는 편의(Bias)를 방지해야 할 것이다(Hong et al, 2011). 두 번째, 응답자의 설문 결과에 따라 지불 의사 추정액이 과대 평가되기 쉽고, 설문자의 소득 수준, 환경에 대한 인식 정도에 따라 편차가 크게 발생할 수 있다(Yoon, 2017). 이처럼 CVM은 추정 결과의 타당성과 신뢰성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

반면 HEA 기법은 CVM과 비교해, 보다 과학적으로 제시된 객관적인 자료를 바탕으로 하며, 자연자원이 제공하는 물리적, 화학적, 생물학적 조건들을 포함하는 일체의 생태적 서비스의 손실까지 추정할 수 있다. 이는 시간적, 비용적

측면에서 더 효율적인 장점이 있다. 따라서 본 연구의 핵심인 울산 부유식 해상풍력발전단지의 해양생태계환경 및 자원 영향성의 경제적 가치추정법으로 정량적 평가방법인 HEA를 사용하고자 하였다.



## 제 4 장 해상풍력발전단지 환경피해의 경제적 가치추정

### 4.1 서식지 등가성 분석법(HEA)

HEA는 복원비용접근법 또는 보상대체비용법의 대표적인 환경피해 가치평가 방법으로서, 1995년 미 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA)의 연구보고서에 처음 소개되었다. 2000년과 2006년 두 번의 수정 과정을 거쳐 미국 유류오염법(Oil Pollution Act: OPA) 하에서 유류오염으로 피해를 입은 환경재 및 자원서비스의 정량적 평가법으로 도입되었으며, 전통적인 가치평가접근법인 CVM의 대체재로 현재 유류오염사고 뿐만 아니라 항만개발 등을 포함하여 다른 해양환경 및 생태계 서비스 영향성 평가방법론으로 적용되고 있다(Kim 2016). HEA는 피해를 입은 자연자원과 동등한 서비스를 제공하는 복원 및 대체 사업에 소요되는 비용을 산정하여 이를 손실된 자연자원의 가치로 평가하는 것이다.

HEA 접근방식은 기본적으로 적절한 보상 복구를 통해 얻은 서식지 서비스의 가치가 자원 상해 이전에 손실된 서비스의 가치와 일치한다는 가정으로 시작하며, 피해를 입은 환경재의 단위 서비스( $V_d$ )와 복원사업이 제공하는 단위 서비스( $V_{RP}$ )에 대해 일대일 교환관계( $V_d/V_{RP}=1$ )임을 의미한다. 다시 말해 HEA는 서비스 대 서비스 접근법(Service-to-Service approach)으로써, 피해를 입은 환경재와 자원의 단위 서비스(Unit service)와 복원사업이 제공하는 단위 서비스(Unit service from restoration project)에 대한 국민들이 일대일 교환관계(One-to-one trade-off)를 기꺼이 받아들인다는 의미를 내포하고 있다.

Fig. 14(a)에서, 개발이나 환경오염 등으로 훼손된 자원서비스는 일정한 시간이 지나면 자연적으로 회복하게 되는데, 피해를 입기 전 서비스 수준(Baseline service; b)으로 완전히 복원되는 시간( $T_R$ )까지가 전체적인 손실(S)이 된다. 따라서 기존에 제공하던 서비스와 같거나 비슷한 서비스 질(Service quality)을 제공할 수 있는 복원사업이 시작되어, 자원회복 기간과 같이 일정 기간 이후 100%의 성숙(Maturity)단계에 도달( $T_M$ )하는 성숙 기간을 포함하여 그 이후에 동등한 자

원서비스를 제공하게 되는데, 이 때 피해를 입은 크기(S)와 똑같은 양의 복원사업의 크기(RP)로 추정하면 되는 것이다(Fig. 14(b)).

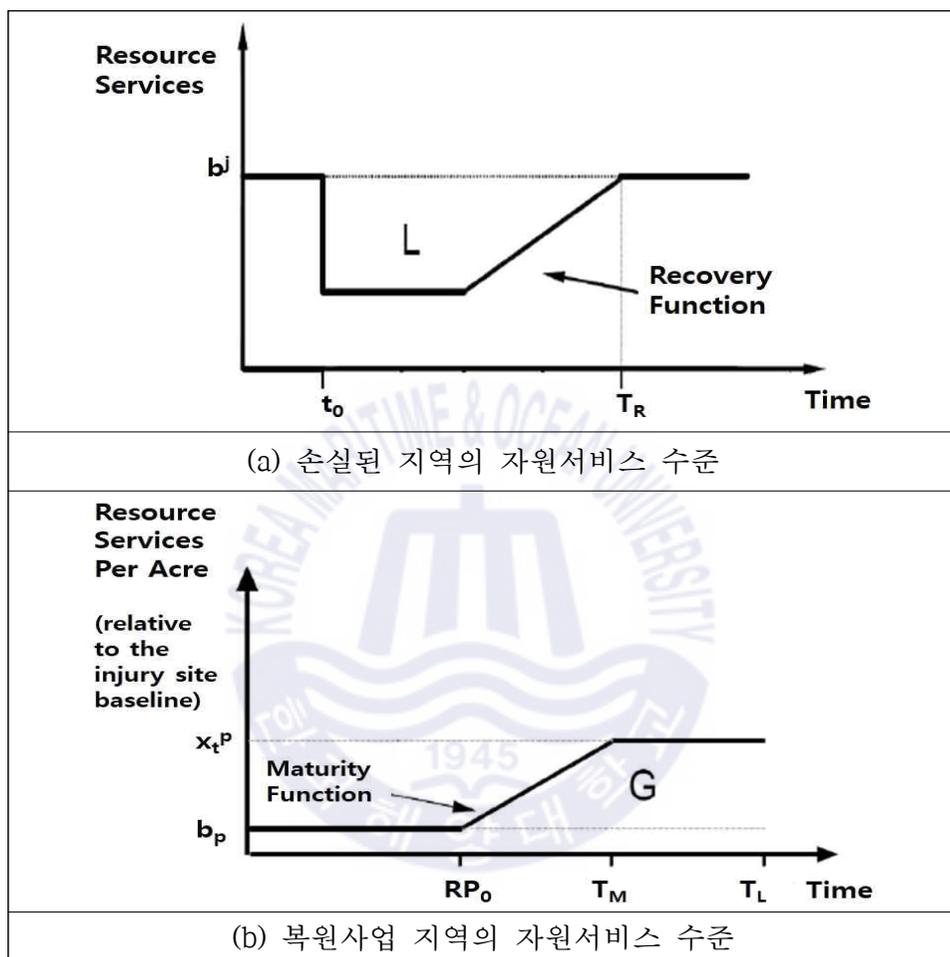


Fig. 14 HEA의 기본개념

Source : NOAA, 1995.

마지막으로 생태계 피해와 복원사업은 장기간, 다른 시간 및 공간에서 이루어지기 때문에 현재와 미래의 시간적 가치를 고려하기 위해 사회적 할인율( $r$ )을 적용하여 계산해야 한다(Shaw and Wlizarz, 2013). Fig. 14에서 설명한 HEA 기본개념에 대한 계산공식은 식 (1)과 같다.

$$RP = S \times \frac{V_d}{V_{RP}} \times \frac{\sum_{t=t_0}^{T_R} [((b^j - x_t^j)/b^j)(1+r)^{(C-t)}]}{\sum_{t=RP_0}^{T_L} [((x_t^p - b^p)/b^p)(1+r)^{(C-t)}]} \quad (1)$$

단, 부상 현장의 서비스 수준이 영구히 손실되거나, 복구 서식지에서 서비스를 영구히 제공하는 경우는  $T_R$ 과  $T_M$ 이 무한에 접근하는 것과 같으며 그에 대한 식은 식 (2)와 같다(Kim, 2016).

$$RP = S \times \frac{V_d}{V_{RP}} \times \frac{\sum_{t=t_0}^{T_R} [((b^j - x_t^j)/b^j)(1+r)^{(C-t)}] + [((b^j - x_{t=T_R+1}^j)/b^j)(1+r)^{(C-(T_R+1))} \times \frac{1}{r}]}{\sum_{t=RP_0}^{T_M} [((x_t^p - b^p)/b^p)(1+r)^{(C-t)}] + [((x_{t=T_M+1}^p - b^p)/b^p)(1+r)^{(C-(T_M+1))} \times \frac{1}{r}]} \quad (2)$$

RP = 피해 보상적 생태계 복원사업의 크기

S = 생태계 피해를 입은 지역의 크기

$V_d$  = 피해를 입은 생태계가 제공하는 단위 생태자원 서비스 당 가치

$V_{RP}$  = 복원된 생태계가 제공하는 단위 생태자원 서비스 당 가치

$b^j$  = 피해를 입기 이전(Baseline)의 생태계 서비스 수준

$x_t^j$  = 피해지역 생태계가 제공하는 t시점의 서비스 수준

$b_p$  = 복원사업이 이루어지는 지역 생태계의 초기 생태계 서비스 수준

$x_t^p$  = 복원지역 생태계가 제공하는 t시점의 서비스 수준

$t_0$  = 해상풍력발전단지사업이 시작된 시점

$RP_0$  = 복원사업이 시작된 시점

$T_R$  = 피해지역이 피해이전(Baseline) 상태로 완전히 회복된 시점

$T_M$  = 복원사업이 완전한 성숙단계에 도달한 시점

$T_L$  = 복원사업에서 제공하는 생태계 서비스가 종료되는 시점

r = 사회적 할인율(4.5%)

일반적으로 피해지역과 복원사업지역의 해양자원 서비스 질은 시간에 불변하며(Time interval), 동일한 것( $V_d/V_{RP}=1$ )으로 가정하고 있다(NOAA, 1995). 그러나 피해지역이 역사적·문화적인 가치 등을 내포하고 있을 경우, 단순한 복원사업으로 제공되는 서비스의 질은 과소평가될 수 있으며, 반대로 피해지역이 수산업이나 해양관광지역 등으로도 이용되지 못하는 하찮은 지역일 경우, 과도한 복원사업의 수행은 과대평가된 결과일 수도 있는 것이다. 따라서 본 연구에서는 동일한 서비스 질을 제공한다고 가정하고자 한다.



## 4.2 울산 부유식 해상풍력발전단지 지정에 따른 해양환경피해 분석

### 4.2.1 울산 부유식 해상풍력발전단지 지정 개요

울산 앞바다에 설치될 풍력발전설비는 동해-1 가스전을 중심으로 한 200MW급 용량의 해상 부유식 풍력발전단지가 될 예정이며, 한 기당 5MW급 풍력발전터빈 40기의 설치를 계획하고 있다. 풍력발전 설비보급 초기에는 대부분 육상(On-shore)에 위치했으나, 기술발전과 입지여건 변화에 따라 해상(Off-shore)으로 확산되고 있다. 울산 앞바다에 설치하고자 하는 풍력발전은 Fig. 15와 같이 부유식 해상풍력으로 발전설비 본체가 바닥에 고정되지 않고 수중에 띄워진 상태에서 전기를 생산하는 방식이다.

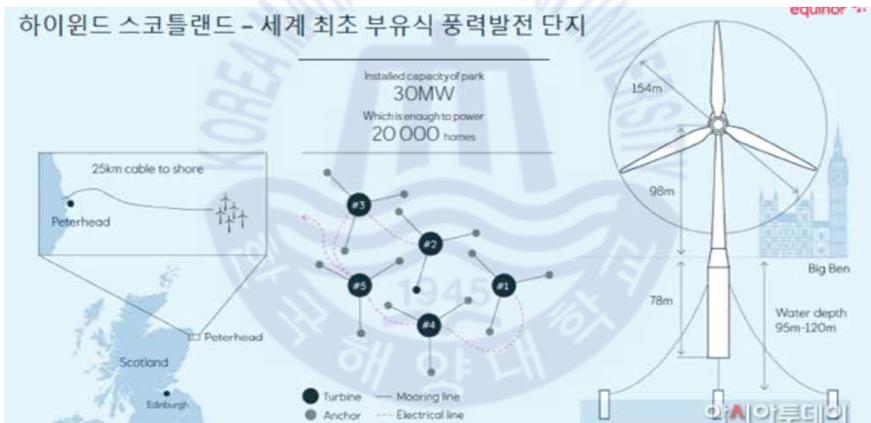


Fig. 15 하이윈드 부유식 풍력발전

Source : 아시아투데이(2019).

정부는 2030년까지 재생에너지 발전비중 20% 달성을 제시하였으나, 대규모 프로젝트를 위한 입지 및 경제성 확보가 어려운 상황에서 지자체(예: 울산시), 공기업(예: 남동발전, 서부발전)은 부유식 해상풍력 단지 조성을 검토하고 있었다. 이에 경북, 제주, 울산시가 단지 조성을 모색 중이며, 이 중 울산시가 2019년 초 동해 가스전을 중심으로 부유식 해상풍력 발전단지 조성을 위한 업무협약을 체결하여 가장 적극적으로 부유식 해상풍력 프로젝트 사업화를 추진하고 있다.



Fig. 16 동해-1 가스전 모습

Source : 울산매일, 2018.

울산 부유식 해상풍력발전단지를 건립하기 위한 장단점을 살펴보면 다음과 같다. 우선 장점으로서는 첫째, 기존 동해 가스전 시설을 활용함으로써 얻을 수 있는 이점이 다양하다. 가스전 시설을 이용하여 기초구조물 설치비용을 절감할 수 있으며, 동해 가스전 설치 시 수집한 주변 환경조사 자료의 활용이 가능하다. 또한, 가스관을 전선관으로 대체하는 방안이 검토되고 있고, 가스전 철거비용 또한 절감할 수 있는 등 여러 이점을 가지고 있다. 둘째, 위치상 이점이 있다. 울산에서 동남쪽으로 58km 정도 떨어진 곳에 위치하여, 공사 시 발생하는 소음, 진동 등으로 인한 민원 발생 소지가 적고, 최소 풍속 7.5m/s 이상의 풍부한 풍황이 있는 곳이다. 조선 해양 산업이 발달한 울산과 가까워 연계산업 육성이 용이하며, 고리, 새울원전, 월성원전, 울산 화력발전소 등 발전소 밀집 지역과 근접하여 대용량의 전력 연계가 용이하다. 하지만, 부유식 해상풍력발전단지 조성을 위해서는 해당 해역이 해군 군사지역이기 때문에 국방부 협조 없이는 사업 차질이 불가피하고, 기술축적이 미흡한 상태에서 사업화를 우선 추진할 경우 국부유출과 기술종속이 우려되고 있으며, 경제성 측면에서 금융비용 및 운영비용 모두 높아 수익성 확보에 어려움이 존재하는 등 동해 가스전 인근

단지의 안정적 조성을 위한 선결요인 해결이 필수적이다(POSCO, 2019).



Fig. 17 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성 예정 위치도

Source : 주간경향, 2019.

한편, 이와는 반대로 울산 해상풍력발전단지 설정으로 인해 Fig. 18과 같은 해양자원 서비스의 피해가 예상된다. 첫째, 직접적 사용가치에 대한 피해로, 기존 해양생태계 서비스 사용에 대한 금지 때문에 상업적, 여가적 어업으로 발생하는 수익 등에 직접적인 손실을 가져오며, 풍력단지 공사 시 발생하는 소음 및 진동, 그리고 풍력터빈 고정용 앵커에 의한 부유사 확산 등에 의하여 어업 피해가 발생한다. 둘째, 풍력발전단지 구조물에 의한 해양생태계 파괴와 비사용 가치인 바다 경관 훼손 등으로 인한 후생감소 등을 들 수 있다. 이 밖에도 해양생태계 변화로 인한 자정 능력 저하 등 여러 가지 요인들이 있다.

**울산풍력  
발전단지  
예상피해**

1. 기존 해양 생태계 서비스 사용금지 (어업 수익 감소 등)
2. 공사시/운영시 발생하는 소음 및 진동
3. 고정용 앵커에 의한 부유사 확산(어업피해)
4. 구조물에 의한 해양생태계 파괴
5. 바다 경관 훼손
6. 해양생태계 변화에 의한 자정 능력 저하

Fig. 18 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성에 따른 예상 피해

#### 4.2.2 HEA를 이용한 해양환경 및 자원피해 분석

해상풍력발전단지가 건설되면 주변 해역에서의 어업 활동은 안전상 문제 등으로 금지될 가능성이 높다. 시설 특성상 단지 형태로 넓은 지역을 차지하고 구조물에 터빈과 날개가 움직이기 때문에 단지 안은 물론 주변에서도 다른 활동을 하기 어렵다(KMI, 2011). 풍력발전단지 설정으로 인해 경관 훼손, 생태계 교란 가능성 등은 발전단지가 해체되지 않는 이상 지속될 것이다. 해상풍력발전단지 설립 시, 발전터빈을 고정하기 위한 앵커만으로 모든 구역이 훼손되는 것은 아니다. 하지만 발전시설의 설치 및 해체 시 발생하는 구조물 설립, 여러 부가 공사 등으로 인해 해당 구역 내 저서 생태계가 모두 피해를 입는 점과 해상풍력발전단지가 운영 중일 때는 해당 해역 접근을 금지함으로써 해양생태계 이용을 할 수 없다는 점에서 발전단지 해역 모두를 피해 구역으로 설정하였다.

HEA를 적용하기 위해서는 손실지역의 피해 정도와 크기, 피해 생태계의 회복 기간, 보상사업 지역의 성숙도<sup>4)</sup>, 보상 크기 등의 물리학적, 생물학적 자료와 사회적 할인율과 같은 경제학적 자료들이 필요하다.

4) 서식하는 생물군집의 양(Quantity)이나 상태(Status)를 기준으로 자연초와 인공어초를 비교함.

$MI(\%) = (\sum_{i=1}^n \frac{AR_i}{NR_i} \times 100) / n$ , MI(Maturity Index):성숙도, AR<sub>i</sub>:인공어초의 i번째 패러미터 연평균, NR<sub>i</sub>: 각 연안바다목장 자연초의 i번째 패러미터 연평균, n:패러미터의 개수(Yoon et. al., 2014).

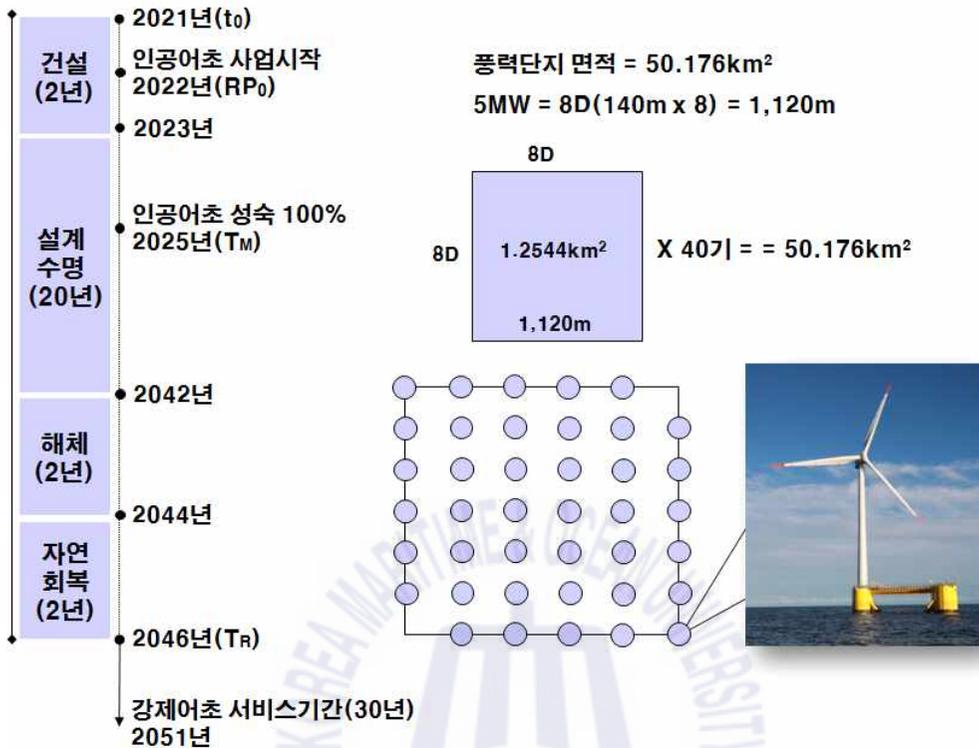


Fig. 19 울산 부유식 해상풍력발전 피해 HEA 요소

해상풍력발전단지 운영기간 동안 해당 해역의 사용이 금지되어 피해가 지속된다고 가정한다. 선행연구들을 참조하여 해상풍력발전의 설계 수명은 20년, 올해 한국 석유공사에서 스코틀랜드 Hywind 부유식 풍력발전 건설사인 에퀴노르(Equinor)와 맺은 동해-1 해상풍력발전사업 컨소시엄 서명식에 명시된 건설 기간 2년, 그리고 해체 기간도 건설 기간과 동일하게 가정한 2년, 총 4년을 포함한다.

해상풍력발전단지 해체 시, 구조물 제거 및 공사로 발생한 부유사 및 침전물 제거로 인한 생태계 훼손이 훼손 이전으로 회복될 때까지 성숙 기간은 이와 유사한 단기 해사 채취 이후 저서 생태계의 완전한 회복 기간인 2년(Yu, 2006)으로 하였고, 성숙도는 2년간 100%에 이르는 것으로 하였다. 따라서 총 26년( $T_R$ ) 동안 피해가 진행된다고 가정한다.

최초로 피해를 입은 시기( $t_0$ )는 부유식 해상발전 개발 프로젝트가 종료되는 시점(2020년 5월) 다음 해인 2021년으로 하고, 이 시점부터 해당 해역에서 제공하는 생태계 서비스는 100% 훼손된다고 가정한다. 복원사업지의 인공어초사업이 시작되는 시기( $RP_0$ )는 이듬해인 2022년으로 가정하였다. 인공어초 성숙도가 3년째인 76.9%인 연구결과(Yu, 2014)를 참고하여 선형모형으로 추정하면 4년째( $T_M$ )부터 100%에 도달하는 것으로 가정한다.

인공어초 서비스 효과가 발생하는 기간( $T_L$ )은 30년(최종두는 인공어초 경제성 분석시 일본의 어초는 30년, 부어초는 10년을 적용하고 있다.)으로 가정한다.

Table 14 울산 인공어초 복원사업 현황(1971~2016년)

어초분류	년도	1971~2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	합계
인공어초	사업면적 (ha)	2,236	74	60	80	8	4	4	64	20	16	2,566
	사업비용 (백만원)	9,745	1,092	709	799	655	538	673	655	625	625	16,116
	단위비용 (백만원/ha)	4.35	14.75	11.81	9.99	81.87	134.50	168.25	10.23	31.25	39.06	6.28
2단상자형 강제어초	사업면적 (ha)	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96
	사업비용 (백만원)	449	403	-	-	-	-	-	-	-	-	852
	단위비용 (백만원/ha)	4.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.875

Source : 한국수자원공사(2017)

피해지역인 울산 해상풍력발전단지과 동질의 서비스를 제공해줄 수 있는 복원사업은 인공어초 복원사업으로 정하였다. 우리나라 수산자원의 조성 방법으로는 어장관리, 바다숲 조성, 자원첨가 등의 방식으로 나뉜다. 인공어초시설 및 어초어장 관리, 바다숲 조성, 종묘매입방류 및 방류 효과 조사, 도립 배양장 지원 등 다양한 방법이 있으며 그 중 인공어초를 이용한 방법이 가장 오래되고, 큰 비중을 차지한다(김대영 등, 2010). 2000년대로 넘어와서는 수산자원조성

사업에 대한 양적인 확대보다는 시설 이후의 시설물 관리, 효과측정 등의 질적인 측면이 강조되고 있다(KMI, 2008). 또한, 동해-1 가스전 주변 해역 수심은 124~142m로, 본 연구의 생태계복원사업은 해저 200m까지 설치 가능한 강제어초(강제어초는 대부분 수심 200m 해저까지 설치되고, 수심이 깊어질수록 수온이 낮아지고, 용존 산소량이 감소하므로 부식량이 감소한다. Seo, 2007) 중 울산지역에서 가장 많이 사용된 2단 상자형 강제어초 방식으로 하며, 단위 사업 시행 비용은 Table 14와 같이 8.875(백만원/ha)로 한다.

풍력발전단지 면적 구성에 중요한 풍력발전 간 이격거리에 관한 기준은 논문들 간 차이를 보이고 있다. 풍력터빈 간 이격거리는 5D(Diameter)가 기준이 될 수 있고<sup>5)</sup>, 8D라고 보는 견해도 있다. 울산 부유식 풍력발전단지 사업에 참여하는 에퀴노르 사(社) 주도하에 설립된 6MW급 스코틀랜드 Hywind의 경우, 720~1600m 간격을 두고 풍력발전시설이 설치되었다.

울산 풍력발전단지에 적용이 예상되는 5MW급 풍력발전기 간 거리는 8D이다. 이를 5MW급 풍력발전 Rotor의 사양(D=140M)을 기준으로 8D에 적용하면 1,120M가 산출되므로, 풍력발전 1기당 가로(1,120M) x 세로(1,120M) = 1.2544km<sup>2</sup>의 면적이 산출된다. 따라서 200MW급 발전단지가 들어설 울산 풍력발전단지의 총 면적 단순추정치는 50.176km<sup>2</sup>(5017.6ha)이 된다.

끝으로 사회적 할인율은 기획재정부 예비타당성 조사 수행 총괄지침에 따라 4.5%를 적용한다. 위에서 언급한 울산 해상풍력발전단지 설정으로 인한 HEA 활용 시 변수들은 Table 15와 같다.

---

5) 이격거리 5D를 기준으로 풍력터빈의 공기역학적 출력 증가율의 기울기에 변화가 있으므로 이격거리 5D는 풍력발전단지 레이아웃 연구에 있어 공기역학적 출력 관점에서는 기준이 될 수 있다(Choi, 2011).

Table 15 해상풍력발전단지 설정으로 인한 HEA 활용 시 변수들

변수 이름	값	비고
$t_0$	2021년	부유식 해상풍력발전 개발 프로젝트 종료시점(2020. 5)
$T_R$	2046년	해상풍력발전 기본 운영기간 : 20년 설계 및 해체 기간 : 4년 해체 완료 후 자연 회복기간 : 2년
S	5,017.6ha	50.176km <sup>2</sup> (1km <sup>2</sup> =100ha)
제안된 복원사업	2단 상자형 강제어초	
사업의 한계비용	8.875	백만원/ha
$RP_0$	2022	인공어초사업 시작
$T_L$	2051	2단 상자형 강제어초 서비스 기간: 30년
$T_M$	2025	2단 상자형 강제어초 성숙도 100% 도달기간: 3년 이후(4년째 되는 해)
r	4.5%	사회적 할인율

### 4.3 피해추정결과

HEA를 이용하여 울산 해상풍력발전단지 조성에 경제적 피해액을 추정하였다. 또한, 민감도분석을 고려하여 사회적 할인율(4.5%/한국 및 3.0%/미국)과 강제어초 성숙도(100%, 76.9%)를 고려한 다음 4가지 Case로 추정하였다.

#### 4.3.1 Case-I (사회적 할인율 4.5%, 성숙도 100%)

사회적 할인율 4.5%, 성숙도 100% 가정하에 해상풍력발전단지에서 손실된 서비스의 크기와 보상지역의 보상된 서비스의 크기는 Fig. 20과 같다. 해상풍력발전단지의 건설 및 해체, 운영기간인 26년 동안 생태계 손실 크기는 Fig. 20의 아래 면적이며, 이와 동질의 서비스를 제공하는 생태계 복원사업인 2단 상자형 강제어초가 제공하는 30년간의 서비스 크기와 같다고 할 수 있다. 피해 기간(26년) 동안 전체 해양생태계 피해지역은 70,399.30ha(Table 16)이고, 피해지역과 등가하는 서비스 크기를 제공하기 위해 5,277.93ha(보상면적 = 손실지역 할인된 손실 크기의 합/복원지역 할인된 손실 크기의 합)의 면적에 30년간 인공어초를 운영하면 된다. 이를 바탕으로 울산 해상풍력발전단지 지정을 통해 발생한 해양생태계 피해액(보상액 = 보상면적 x 사업한계비용)은 약 46,841.64백만원으로 추정되었다.

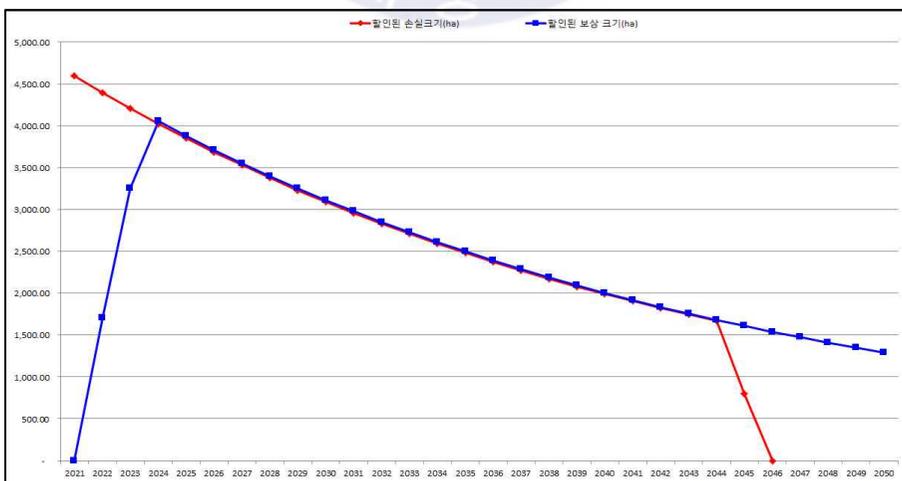


Fig. 20 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 4.5%, 성숙도 100%)

Table 16 해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case- I )

구분	서비스 수준	서비스 감소율	손실된 서비스 크기(면적)	할인요인	할인된 손실크기(ha)
2021	0	1.000	5,017.6	0.915729951	4,594.77
2022	0	1.000	5,017.6	0.876296604	4,396.91
2023	0	1.000	5,017.6	0.838561344	4,207.57
2024	0	1.000	5,017.6	0.802451047	4,026.38
2025	0	1.000	5,017.6	0.767895738	3,852.99
2026	0	1.000	5,017.6	0.734828458	3,687.08
2027	0	1.000	5,017.6	0.703185127	3,528.30
2028	0	1.000	5,017.6	0.672904428	3,376.37
2029	0	1.000	5,017.6	0.643927682	3,230.97
2030	0	1.000	5,017.6	0.616198739	3,091.84
2031	0	1.000	5,017.6	0.589663865	2,958.70
2032	0	1.000	5,017.6	0.564271641	2,831.29
2033	0	1.000	5,017.6	0.539972862	2,709.37
2034	0	1.000	5,017.6	0.516720442	2,592.70
2035	0	1.000	5,017.6	0.494469323	2,481.05
2036	0	1.000	5,017.6	0.473176385	2,374.21
2037	0	1.000	5,017.6	0.452800369	2,271.97
2038	0	1.000	5,017.6	0.433301788	2,174.14
2039	0	1.000	5,017.6	0.414642860	2,080.51
2040	0	1.000	5,017.6	0.396787426	1,990.92
2041	0	1.000	5,017.6	0.379700886	1,905.19
2042	0	1.000	5,017.6	0.363350130	1,823.15
2043	0	1.000	5,017.6	0.347703474	1,744.64
2044	0	1.000	5,017.6	0.332730597	1,669.51
2045	0	0.500	2,508.8	0.318402485	798.81
2046	0	0.000	-	0.304691373	-
합계					70,399.30

Table 17 해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case- I )

년도	복원된 서비스 증가율	할인요인	할인된 손실 크기율	할인된 보상 크기(ha)
2022	0	0.876296604	0	-
2023	0.3845	0.838561344	0.322426837	1,701.75
2024	0.7690	0.802451047	0.617084855	3,256.93
2025	1.0000	0.767895738	0.767895738	4,052.90
2026	1.0000	0.734828458	0.734828458	3,878.37
2027	1.0000	0.703185127	0.703185127	3,711.36
2028	1.0000	0.672904428	0.672904428	3,551.54
2029	1.0000	0.643927682	0.643927682	3,398.61
2030	1.0000	0.616198739	0.616198739	3,252.25
2031	1.0000	0.589663865	0.589663865	3,112.21
2032	1.0000	0.564271641	0.564271641	2,978.19
2033	1.0000	0.539972862	0.539972862	2,849.94
2034	1.0000	0.516720442	0.516720442	2,727.22
2035	1.0000	0.494469323	0.494469323	2,609.78
2036	1.0000	0.473176385	0.473176385	2,497.39
2037	1.0000	0.452800369	0.452800369	2,389.85
2038	1.0000	0.433301788	0.433301788	2,286.94
2039	1.0000	0.41464286	0.414642860	2,188.46
2040	1.0000	0.396787426	0.396787426	2,094.22
2041	1.0000	0.379700886	0.379700886	2,004.04
2042	1.0000	0.36335013	0.363350130	1,917.74
2043	1.0000	0.347703474	0.347703474	1,835.16
2044	1.0000	0.332730597	0.332730597	1,756.13
2045	1.0000	0.318402485	0.318402485	1,680.51
2046	1.0000	0.304691373	0.304691373	1,608.14
2047	1.0000	0.291570692	0.291570692	1,538.89
2048	1.0000	0.279015016	0.279015016	1,472.62
2049	1.0000	0.267000016	0.267000016	1,409.21
2050	1.0000	0.255502407	0.255502407	1,348.52
2051	1.0000	0.244499911	0.244499911	1,290.45
합계			13.33842581	70,399.30

### 4.3.2 Case-II (사회적 할인율 4.5%, 성숙도 76.9%)

사회적 할인율 4.5%, 성숙도 76.9% 가정하에 해상풍력발전단지에서 손실된 서비스의 크기와 보상지역의 보상된 서비스의 크기는 Fig. 21과 같다. 해상풍력발전단지의 건설 및 해체, 운영기간인 26년 동안 생태계 손실 크기는 Fig. 21의 아래 면적이며, 이와 동질의 서비스를 제공하는 생태계 복원사업인 2단 상자형 강제어초가 제공하는 30년간의 서비스 크기와 같다고 할 수 있다. 피해 기간(26년) 동안 전체 해양생태계 피해지역은 70,399.30ha(Table 18)이고, 피해지역과 등가하는 서비스 크기를 제공하기 위해 6,721.16ha(보상면적 = 손실지역 할인된 손실 크기의 합/복원지역 할인된 손실 크기율의 합)의 면적에 30년간 인공어초를 운영하면 된다. 이를 바탕으로 울산 해상풍력발전단지 지정을 통해 발생한 해양생태계 피해액(보상액 = 보상면적 x 사업한계비용)은 약 59,650.30백만원으로 추정되었다.

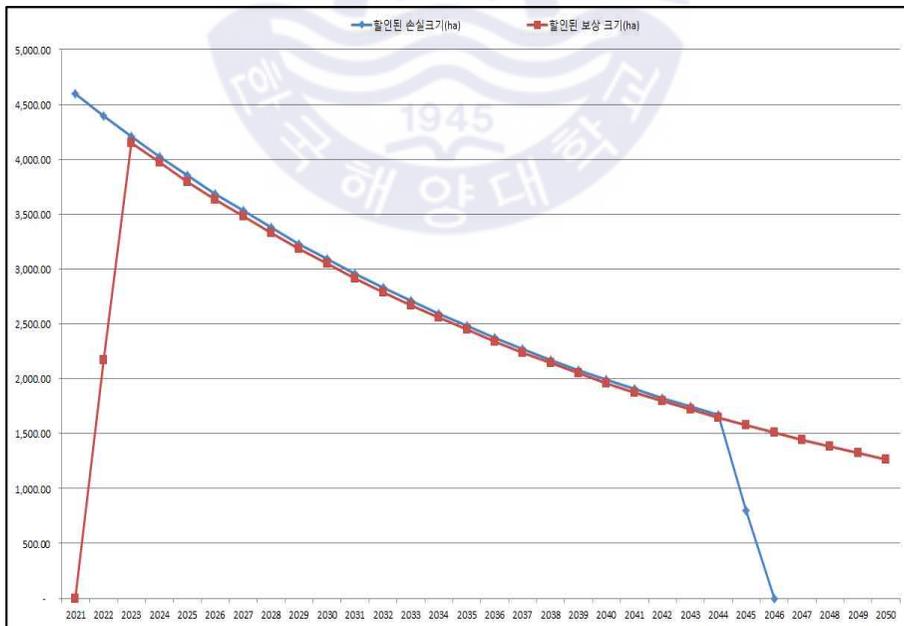


Fig. 21 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 4.5%, 성숙도 76.9%)

Table 18 해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case- II)

년도	서비스 수준	서비스 감소율	손실된 서비스 크기(면적)	할인요인	할인된 손실크기(ha)
2021	0	1.000	5,017.6	0.915729951	4,594.77
2022	0	1.000	5,017.6	0.876296604	4,396.91
2023	0	1.000	5,017.6	0.838561344	4,207.57
2024	0	1.000	5,017.6	0.802451047	4,026.38
2025	0	1.000	5,017.6	0.767895738	3,852.99
2026	0	1.000	5,017.6	0.734828458	3,687.08
2027	0	1.000	5,017.6	0.703185127	3,528.30
2028	0	1.000	5,017.6	0.672904428	3,376.37
2029	0	1.000	5,017.6	0.643927682	3,230.97
2030	0	1.000	5,017.6	0.616198739	3,091.84
2031	0	1.000	5,017.6	0.589663865	2,958.70
2032	0	1.000	5,017.6	0.564271641	2,831.29
2033	0	1.000	5,017.6	0.539972862	2,709.37
2034	0	1.000	5,017.6	0.516720442	2,592.70
2035	0	1.000	5,017.6	0.494469323	2,481.05
2036	0	1.000	5,017.6	0.473176385	2,374.21
2037	0	1.000	5,017.6	0.452800369	2,271.97
2038	0	1.000	5,017.6	0.433301788	2,174.14
2039	0	1.000	5,017.6	0.41464286	2,080.51
2040	0	1.000	5,017.6	0.396787426	1,990.92
2041	0	1.000	5,017.6	0.379700886	1,905.19
2042	0	1.000	5,017.6	0.36335013	1,823.15
2043	0	1.000	5,017.6	0.347703474	1,744.64
2044	0	1.000	5,017.6	0.332730597	1,669.51
2045	0	0.500	2,508.8	0.318402485	798.81
2046	0	0.000	-	0.304691373	-
합계					70,399.30

Table 19 해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case- II)

년도	복원된 서비스 증가율	할인요인	할인된 손실 크기율	할인된 보상 크기(ha)
2022	0	0.876296604	0	-
2023	0.3845	0.838561344	0.322426837	2,167.08
2024	0.7690	0.802451047	0.617084855	4,147.53
2025	0.7690	0.767895738	0.590511823	3,968.92
2026	0.7690	0.734828458	0.565083084	3,798.01
2027	0.7690	0.703185127	0.540749363	3,634.46
2028	0.7690	0.672904428	0.517463505	3,477.96
2029	0.7690	0.643927682	0.495180387	3,328.19
2030	0.7690	0.616198739	0.473856830	3,184.87
2031	0.7690	0.589663865	0.453451512	3,047.72
2032	0.7690	0.564271641	0.433924892	2,916.48
2033	0.7690	0.539972862	0.415239131	2,790.89
2034	0.7690	0.516720442	0.397358020	2,670.71
2035	0.7690	0.494469323	0.380246909	2,555.70
2036	0.7690	0.473176385	0.363872640	2,445.65
2037	0.7690	0.452800369	0.348203484	2,340.33
2038	0.7690	0.433301788	0.333209075	2,239.55
2039	0.7690	0.41464286	0.318860359	2,143.11
2040	0.7690	0.396787426	0.305129530	2,050.82
2041	0.7690	0.379700886	0.291989981	1,962.51
2042	0.7690	0.363350130	0.279416250	1,878.00
2043	0.7690	0.347703474	0.267383971	1,797.13
2044	0.7690	0.332730597	0.255869829	1,719.74
2045	0.7690	0.318402485	0.244851511	1,645.69
2046	0.7690	0.304691373	0.234307666	1,574.82
2047	0.7690	0.291570692	0.224217862	1,507.00
2048	0.7690	0.279015016	0.214562547	1,442.11
2049	0.7690	0.267000016	0.205323012	1,380.01
2050	0.7690	0.255502407	0.196481351	1,320.58
2051	0.7690	0.244499911	0.188020432	1,263.72
합계			10.47427665	70,399.30

### 4.3.3 Case-III (사회적 할인율 3.0%, 성숙도 100%)

사회적 할인율 3.0%, 성숙도 100% 가정하에 해상풍력발전단지에서 손실된 서비스의 크기와 보상지역의 보상된 서비스의 크기는 Fig. 22와 같다. 해상풍력발전단지의 건설 및 해체, 운영기간인 26년 동안 생태계 손실 크기는 Fig. 22의 아래 면적이며, 이와 동질의 서비스를 제공하는 생태계 복원사업인 2단 상자형 강제어초가 제공하는 30년간의 서비스 크기와 같다고 할 수 있다. 피해 기간(26년) 동안 전체 해양생태계 피해지역은 83,664.07ha(Table 20)이고, 피해지역과 증가하는 서비스 크기를 제공하기 위해 4,975.85ha(보상면적 = 손실지역 할인된 손실 크기의 합/복원지역 할인된 손실 크기율의 합)의 면적에 30년간 인공어초를 운영하면 된다. 이를 바탕으로 울산 해상풍력발전단지 지정을 통해 발생한 해양생태계 피해액(보상액 = 보상면적 x 사업한계비용)은 약 44,160.66백만원으로 추정되었다.

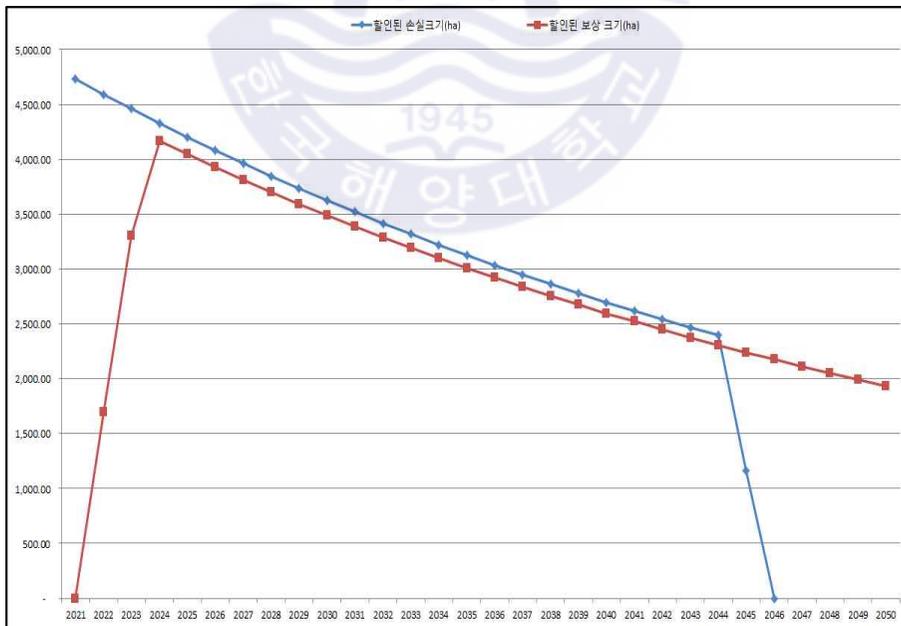


Fig. 22 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 3.0%, 성숙도 100%)

Table 20 해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case-Ⅲ)

년도	서비스 수준	서비스 감소율	손실된 서비스 크기(면적)	할인요인	할인된 손실크기(ha)
2021	0	1.000	5,017.6	0.942595909	4,729.57
2022	0	1.000	5,017.6	0.915141659	4,591.81
2023	0	1.000	5,017.6	0.888487048	4,458.07
2024	0	1.000	5,017.6	0.862608784	4,328.23
2025	0	1.000	5,017.6	0.837484257	4,202.16
2026	0	1.000	5,017.6	0.813091511	4,079.77
2027	0	1.000	5,017.6	0.789409234	3,960.94
2028	0	1.000	5,017.6	0.766416732	3,845.57
2029	0	1.000	5,017.6	0.744093915	3,733.57
2030	0	1.000	5,017.6	0.722421277	3,624.82
2031	0	1.000	5,017.6	0.701379880	3,519.24
2032	0	1.000	5,017.6	0.680951340	3,416.74
2033	0	1.000	5,017.6	0.661117806	3,317.22
2034	0	1.000	5,017.6	0.641861947	3,220.61
2035	0	1.000	5,017.6	0.623166939	3,126.80
2036	0	1.000	5,017.6	0.605016446	3,035.73
2037	0	1.000	5,017.6	0.587394608	2,947.31
2038	0	1.000	5,017.6	0.570286027	2,861.47
2039	0	1.000	5,017.6	0.553675754	2,778.12
2040	0	1.000	5,017.6	0.537549276	2,697.21
2041	0	1.000	5,017.6	0.521892501	2,618.65
2042	0	1.000	5,017.6	0.506691748	2,542.38
2043	0	1.000	5,017.6	0.491933736	2,468.33
2044	0	1.000	5,017.6	0.477605569	2,396.43
2045	0	0.500	2,508.8	0.463694727	1,163.32
2046	0	0.000	-	0.450189056	-
합계					83,664.07

Table 21 해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case-III)

년도	복원된 서비스 증가율	할인요인	할인된 손실 크기율	할인된 보상 크기(ha)
2022	0	0.915141659	0	-
2023	0.3845	0.888487048	0.341623270	1,699.87
2024	0.7690	0.862608784	0.663346155	3,300.71
2025	1.0000	0.837484257	0.837484257	4,167.20
2026	1.0000	0.813091511	0.813091511	4,045.82
2027	1.0000	0.789409234	0.789409234	3,927.98
2028	1.0000	0.766416732	0.766416732	3,813.57
2029	1.0000	0.744093915	0.744093915	3,702.50
2030	1.0000	0.722421277	0.722421277	3,594.66
2031	1.0000	0.701379880	0.701379880	3,489.96
2032	1.0000	0.680951340	0.680951340	3,388.31
2033	1.0000	0.661117806	0.661117806	3,289.62
2034	1.0000	0.641861947	0.641861947	3,193.81
2035	1.0000	0.623166939	0.623166939	3,100.78
2036	1.0000	0.605016446	0.605016446	3,010.47
2037	1.0000	0.587394608	0.587394608	2,922.79
2038	1.0000	0.570286027	0.570286027	2,837.66
2039	1.0000	0.553675754	0.553675754	2,755.01
2040	1.0000	0.537549276	0.537549276	2,674.76
2041	1.0000	0.521892501	0.521892501	2,596.86
2042	1.0000	0.506691748	0.506691748	2,521.22
2043	1.0000	0.491933736	0.491933736	2,447.79
2044	1.0000	0.477605569	0.477605569	2,376.49
2045	1.0000	0.463694727	0.463694727	2,307.28
2046	1.0000	0.450189056	0.450189056	2,240.07
2047	1.0000	0.437076753	0.437076753	2,174.83
2048	1.0000	0.424346362	0.424346362	2,111.48
2049	1.0000	0.411986760	0.411986760	2,049.98
2050	1.0000	0.399987145	0.399987145	1,990.28
2051	1.0000	0.388337034	0.388337034	1,932.31
합계			16.81402777	83,664.07

#### 4.3.4 Case-IV (사회적 할인율 3.0%, 성숙도 76.9%)

사회적 할인율 3.0%, 성숙도 76.9% 가정하에 해상풍력발전단지에서 손실된 서비스의 크기와 보상지역의 보상된 서비스의 크기는 Fig. 23과 같다. 해상풍력발전단지의 건설 및 해체, 운영기간인 26년 동안 생태계 손실 크기는 Fig. 23의 아래 면적이며, 이와 동질의 서비스를 제공하는 생태계 복원사업인 2단 상자형 강제어초가 제공하는 30년간의 서비스 크기와 같다고 할 수 있다. 피해 기간(26년) 동안 전체 해양생태계 피해지역은 83,664.07ha(Table 22)이고, 피해지역과 증가하는 서비스 크기를 제공하기 위해 6,356.42ha(보상면적 = 손실지역 할인된 손실 크기의 합/복원지역 할인된 손실 크기율의 합)의 면적에 30년간 인공어초를 운영하면 된다. 이를 바탕으로 울산 해상풍력발전단지 지정을 통해 발생한 해양생태계 피해액(보상액 = 보상면적 x 사업한계비용)은 약 56,413.23백만원으로 추정되었다.

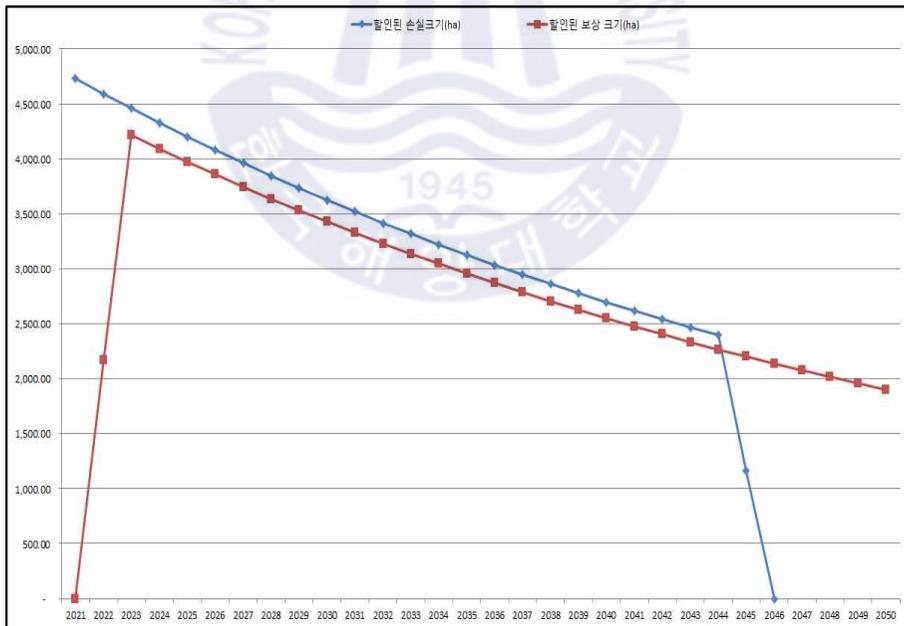


Fig. 23 손실 및 보상된 서비스 크기(할인율 3.0%, 성숙도 76.9%)

Table 22 해상풍력발전단지 설정 시 손실지역(Case-IV)

년도	서비스 수준	서비스 감소율	손실된 서비스 크기(면적)	할인요인	할인된 손실크기(ha)
2021	0	1.000	5,017.6	0.942595909	4,729.57
2022	0	1.000	5,017.6	0.915141659	4,591.81
2023	0	1.000	5,017.6	0.888487048	4,458.07
2024	0	1.000	5,017.6	0.862608784	4,328.23
2025	0	1.000	5,017.6	0.837484257	4,202.16
2026	0	1.000	5,017.6	0.813091511	4,079.77
2027	0	1.000	5,017.6	0.789409234	3,960.94
2028	0	1.000	5,017.6	0.766416732	3,845.57
2029	0	1.000	5,017.6	0.744093915	3,733.57
2030	0	1.000	5,017.6	0.722421277	3,624.82
2031	0	1.000	5,017.6	0.701379880	3,519.24
2032	0	1.000	5,017.6	0.680951340	3,416.74
2033	0	1.000	5,017.6	0.661117806	3,317.22
2034	0	1.000	5,017.6	0.641861947	3,220.61
2035	0	1.000	5,017.6	0.623166939	3,126.80
2036	0	1.000	5,017.6	0.605016446	3,035.73
2037	0	1.000	5,017.6	0.587394608	2,947.31
2038	0	1.000	5,017.6	0.570286027	2,861.47
2039	0	1.000	5,017.6	0.553675754	2,778.12
2040	0	1.000	5,017.6	0.537549276	2,697.21
2041	0	1.000	5,017.6	0.521892501	2,618.65
2042	0	1.000	5,017.6	0.506691748	2,542.38
2043	0	1.000	5,017.6	0.491933736	2,468.33
2044	0	1.000	5,017.6	0.477605569	2,396.43
2045	0	0.500	2,508.8	0.463694727	1,163.32
2046	0	0.000	-	0.450189056	-
합계					83,664.07

Table 23 해상풍력발전단지 설정 시 복원지역(Case-Ⅳ)

년도	복원된 서비스 증가율	할인요인	할인된 손실 크기율	할인된 보상 크기(ha)
2022	0	0.915141659	0	-
2023	0.3845	0.888487048	0.341623270	2,171.50
2024	0.7690	0.862608784	0.663346155	4,216.51
2025	0.7690	0.837484257	0.644025393	4,093.70
2026	0.7690	0.813091511	0.625267372	3,974.46
2027	0.7690	0.789409234	0.607055701	3,858.70
2028	0.7690	0.766416732	0.589374467	3,746.31
2029	0.7690	0.744093915	0.572208221	3,637.20
2030	0.7690	0.722421277	0.555541962	3,531.26
2031	0.7690	0.701379880	0.539361128	3,428.41
2032	0.7690	0.680951340	0.523651580	3,328.55
2033	0.7690	0.661117806	0.508399593	3,231.60
2034	0.7690	0.641861947	0.493591838	3,137.48
2035	0.7690	0.623166939	0.479215376	3,046.09
2036	0.7690	0.605016446	0.465257647	2,957.37
2037	0.7690	0.587394608	0.451706453	2,871.24
2038	0.7690	0.570286027	0.438549955	2,787.61
2039	0.7690	0.553675754	0.425776655	2,706.42
2040	0.7690	0.537549276	0.413375393	2,627.59
2041	0.7690	0.521892501	0.401335333	2,551.06
2042	0.7690	0.506691748	0.389645955	2,476.75
2043	0.7690	0.491933736	0.378297043	2,404.62
2044	0.7690	0.477605569	0.367278683	2,334.58
2045	0.7690	0.463694727	0.356581245	2,266.58
2046	0.7690	0.450189056	0.346195384	2,200.56
2047	0.7690	0.437076753	0.336112023	2,136.47
2048	0.7690	0.424346362	0.326322353	2,074.24
2049	0.7690	0.411986760	0.316817818	2,013.83
2050	0.7690	0.399987145	0.307590115	1,955.17
2051	0.7690	0.388337034	0.298631179	1,898.23
합계			13.16213529	83,664.07

### 4.3.5 민감도 분석

민감도 분석은 다른 조건은 일정하다고 할 경우, 투입요소가 변동될 때 그 가치나 수익률 등이 어떠한 영향을 받는가를 분석하는 것으로, 변수요소가 변화함에 따라 결과치가 어떠한 영향을 받는가를 살펴보는 것이다. 인공어초의 성숙도가 낮으면 동일한 서비스 양을 얻기 위해 더 많은 면적을 필요로 하고 그로 인해 인공어초 설치비용은 증가하게 되므로 자연스럽게 손실된 서비스의 가치는 상승한다. 한편, 할인율이 낮으면 총 손실크기의 하락율은 상대적으로 감소하므로 사회적 할인율이 4.5%일 때보다 총 손실크기는 증가하지만, 할인된 복원 감소율도 작아져 대체 복원사업 서식지의 크기도 감소한다.

미국의 할인율(3.0%)은 우리나라와 경제적, 사회적 환경이 달라 적용하는 데 어려움이 있으므로, 우리나라 사회적 할인율 4.5%를 적용한 Case-I과 Case-II의 울산 부유식 해상풍력발전단지의 경제적 피해는 Table 24와 같이 최소 46,841.64백만원에서 최대 59,650.30백만원으로 추정되었다.

Table 24 민감도 분석을 통한 가치 크기 변화

할인율	성숙도	손실된 서식지 총 크기(ha)	대체 복원사업 서식지 크기(ha)	보상된 서비스 가치 (백만원)
4.5%	100%	70,399.30	5,277.93	46,841.64
	76.9%	70,399.30	6,721.16	59,650.30
3.0%	100%	83,664.07	4,975.85	44,160.66
	76.9%	83,664.07	6,356.42	56,413.23

## 제 5 장 결 론

### 5.1 연구결과

해양공간계획의 효율적인 시행을 위해서는 해양공간계획법 제12조(해양용도 구역의 지정 등)에 따라 용도구역별 특성을 바탕으로 우리 해역 공간에 대한 가치평가가 제대로 이뤄져야 하지만, 현행 해양공간계획은 해양공간에 대한 자료수집 및 관리체계가 불완전하다는 문제점이 있다. 이는 해양공간에 대한 자료수집 체계가 명확하지 않은 상태에서 해양공간 특성평가가 이뤄질 경우, 합리적인 공간계획이 수립될 수 없는 위험이 있으며, 계획수립 이후에도 지속적으로 이해당사자들 간 갈등이 끊이지 않을 것이다.

해양공간계획 상 이해관계가 충돌하는 대표사례로 울산 부유식 해상풍력발전단지 조성을 들 수 있다. 해상풍력발전단지 설립과 관련된 갈등은 여전히 진행 중이며, 이러한 갈등을 해소하기 위해 잘 짜여진 해양공간계획이 필요하다. 또한, 이러한 해양공간계획의 효율적인 수립을 위해 해양공간특성평가 기준이 중요한 것이다.

하지만, 현행 해양공간특성평가 지침에서 어업 활동에 대해서는 어획량, 어선 밀집도 등의 정량적 평가로 이뤄지고, 에너지 개발구역인 해상풍력발전단지는 조성 여부에 대한 정성적 평가를 제시하고 있어, 용도평가에 대해 불합리성이 발생할 수 있다.

따라서 본 연구는 울산 부유식 해상풍력발전단지가 설립될 해역의 효율적인 해양공간특성평가 지침에 활용될 객관적인 평가 기준이 될 수 있는 HEA의 타당성을 확인하고, 이를 통해 해양공간의 정량적인 평가결과를 제시한다.

(1) 해상풍력발전단지 설립으로 인해 손실된 환경재가 가진 경제적 가치(TEV)는 비시장재이기 때문에 직접적인 시장가격을 찾을 수 없다. 따라서 환경재의 경제적 가치를 평가할 수 있는 방법론을 도입해야 하며, 이러한 경제적 가치의 추정이 정량적이고, 객관적인 자료를 통해 명확하게 이뤄졌을 때, 이해당사자들

간 갈등이 해소될 수 있다. 환경재 피해의 경제적 가치를 객관적인 수치로 추정할 수 있는 방법으로 HEA를 제시하였다.

(2) HEA는 경제적 가치평가에 있어, 더 많은 시간과 비용이 필요하고, 개인적인 의사 반영도에 따라 편차가 다양할 수 있는 CVM보다는 좀 더 객관적이고 과학적인 접근법이다.

(3) 울산 부유식 해상풍력발전단지 설립으로 인해 사용이 금지된 해역(5,017.6ha)에서는 상업적, 레저용 수산업이 금지되어 발생할 수 있는 경제적 피해, 공사 및 운영과정에서 발생할 수 있는 생태계 파괴, 풍력발전 구조물로 인한 바다 경관 훼손에서 기인한 후생감소 등 여러 피해가 발생한다. 피해의 경제적 가치 규모 산정을 위한 대체 복원사업을 인공어초사업(2단 상자형 강제어초)으로 선정하고, 이를 적용한 HEA로 추정하였다.

4.5%의 사회적 할인율과 4년째부터 100%의 성숙도를 가정한 기본 가정의 경우 피해액은 약 46,841.64백만원으로 나타났다. 민감도 분석에서는 미국의 평균 사회적 할인율인 3.0%를 적용하고, 유재원 등(2014)의 연구사례에서 밝힌 인공어초의 성숙도인 76.9%를 적용하였을 때는 최대 약 56,413.23백만원의 경제적 피해액이 추정되었다.

## 5.2 한계 및 향후 과제

본 연구는 효율적인 해양공간특성평가 지침에 활용될 객관적인 평가 기준이 될 수 있는 HEA를 통해 울산 부유식 해상풍력발전단지가 설립될 해역의 경제적 가치를 추정하였다. HEA는 객관적이고 명확한 DATA를 기본으로 가치를 산정하기 때문에 해양공간특성평가 시 발생할 수 있는 불합리성을 해결할 수 있을 것이다. 다만, 본 연구는 해양생태계 서비스의 가치평가만을 적용한 사례로 해상풍력발전단지를 둘러싼 다양한 내,외적 요소가 고려되지 않았으며, 변수들에 대해 가정값이 적용되어 추정값이 과도하게 책정될 가능성이 있으므로 실제 해상 풍력발전단지 해역에서 발생하는 더욱 광범위한 피해들과의 직접적인 비교는 어렵다. 그러나, 향후 해상풍력발전단지의 해양공간계획 수립 시 예상되는

용도구역들의 특성평가를 위해서는 객관적이고 합리적인 가치평가가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 우리나라 해양공간특성평가 과정에서는 해양공간계획법에 따른 용도구역간 이해관계를 명확하게 구분하고 사실인 정보들에 근거한, 객관적인 평가 기준이 마련되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- 김대영, 류정곤, 이정삼, 2010. 수산자원조성사업의 합리적인 평가체계 도입 방안에 관한 연구. *수산경영론집*, 41(1), pp.1~24.
- 김만웅, 이강수, 2011. 해상풍력발전 기술 현황 및 전망. *대한조선학회지*, 48(3), pp.44~50.
- 김태균, 2016. 지속가능한 항만운영을 위한 효율적 항만환경관리에 관한 연구 (I): 부산 신항만 개발로 인한 해양환경 및 자원 영향성 평가 사례. *한국항해항만학회지*, 40(6), pp.401~412.
- 남정호, 2010. 우리나라 해양공간계획 이슈 분석 및 제언. *해양 국토* 21, 5, pp.11~26.
- 맹준호, 조범준, 임오정, 서재인, 2013. 국외 모니터링 사례를 통한 해상풍력 발전의 환경적 영향 고찰. *한국해양환경에너지학회지*, 16(4), pp.276~289.
- 박근성, 유기완, 김현구, 2015. 제주도 성산풍력발전단지의 후류 손실 및 터빈 재배치에 관한 연구. *한국태양에너지학회*, 35(3), pp.17~25.
- 박두희, 박정선, 2014. *해상풍력 파일기초설계* [Online] Available at: <http://civil.hanyang.ac.kr/gsr/> [Accessed 31 Dec. 2019].
- 박시원, 2019. 미국의 환경책임과 생태손해. *환경법과 정책*, 22, pp.31~65.
- 산업통상자원부, 2017. *신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법* [Online] (Updated 21 March 2017) Available at: <http://www.law.go.kr> [Accessed 27 July 2019].
- 산업통상자원부, 2019. *제3차 에너지기본계획* [Online] Available at: <http://www.motie.go.kr> [Accessed 27 July 2019].
- 서성호, 이영권, 이익효, 김대권, 2007. 강제어초의 효율성에 관한 현장조사. *한국해양공학회지*, 21(5), pp.61~67.
- 성진기, 이태진, 2013. 한국의 해상풍력 현황과 발전방향에 관한 연구. *전기학회*, 62(3), pp.312~321.

에너지경제연구원, 2014. *신재생에너지에 대한 지불의사액 추정 및 사회적 수용성(PA) 제고방안 연구*, 경기도 의왕시: 에너지경제연구원.

유옥환, 이형곤, 이재학, 김동성, 2006. 경기만에서 해사채취가 대형저서동물 군집 구조에 미치는 영향. *Ocean and Polar Research*, 28(2), pp.129~144.

유재원, 홍현표, 황재연, 이민수, 이용우, 이채성, 황선도, 2014. 인공어초의 기능도와 성숙도 평가를 위한 생태학적 지수에 대한 연구. *한국해양학회지*, 19(1), pp.8~34.

윤효영, 2017. 미국의 자연자원 손해배상법제에 관한 연구 - CERCLA와 OPA를 중심으로 -. *법학논총*, 41(1), pp.197~229.

이준서, 2018. 환경오염피해 배상책임 및 구제에 관한 법률상 자연환경훼손의 복원 가능성과 한계. *환경법연구*, 40(3), pp.47~87.

정석용, 박종포, 이익형, 정진도, 2009. 해상풍력발전 기술의 현황 및 전망. *기계저널*, 49(11), pp.39~44.

조성희, 2014. 국내 최대 5.5MW급 해상풍력발전시스템 설치 현황. *전기저널*, pp.49~52.

최낙준, 남상현, 정종현, 김경천, 2011. CFD를 활용한 6 MW 해상풍력발전단지의 풍력터빈 이격거리에 따른 공기역학적 출력 변화연구. *한국마린엔지니어링학회지*, 35(8), pp.1063~1069.

최종두, 2013. 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구. *수산경영론집*, 44(3), pp.103~109.

최희정, 2010. 미국의 해양공간계획(MSP) 정책방향과 시사점. *해양국토21*, 5, pp.27~41.

한국에너지공단, 2018. 발간등록번호 11-1410000-001321-11 2018 신·재생에너지 백서 [Online] Available at: <https://www.knrec.or.kr> [Accessed 31 Dec. 2019].

한국해양수산개발원, 2008. *수산자원조성사업의 평가체제 구축방안에 관한 연구*, 부산: 한국해양수산개발원.

한국해양수산개발원, 2008. *허베이스피리트호 유류오염사고의 환경피해액 추정 연구*, 부산: 한국해양수산개발원.

한국해양수산개발원, 2011. *해양풍력발전의 환경적 경제적 영향분석*, 부산: 한국해양수산개발원.

한국해양수산개발원, 2011. *해양자원의 최적이용을 위한 해양공간계획 수립 연구 - 해양공간계획 체계 정비방향을 중심으로 -*, 부산: 한국해양수산개발원.

한국환경정책·평가연구원, 2014. *해양에너지 개발을 위한 전략환경평가 방안 연구: I. 해양풍력사업의 입지 선정을 중심으로*, 세종: 한국환경정책·평가연구원.

해양수산부, 2018. 법률 제15607호 *해양공간계획 및 관리에 관한 법률* [Online] Available at: <http://www.law.go.kr> [Accessed 27 July 2019].

해양수산부, 2019. 발간등록번호 11-1192000-001182-01 *제1차 해양공간기본계획* [Online] Available at: <http://www.mof.go.kr> [Accessed 17 Oct. 2019].

해양수산부, 2019. 해양수산부 고시 제2019-76호 *해양공간특성평가 지침* [Online] Available at: <http://www.mof.go.kr> [Accessed 13 Dec. 2019].

홍종호, 엄영숙, 2011. 설문기법을 이용한 공공재의 수요 측정 : 주요 쟁점과 환경위성 탑재사업 가치평가에의 응용. *한국경제의 분석*, 17(1), pp.1~72.

Cassandra Love, 2014. Case Study: Cape Wind Project. [Online] Available at: <https://www.nationalgeographic.org/article/case-study-cape-wind-project/> [Accessed 16 Dec. 2019].

Helen Bailey, Kate L. Brookes, Paul M. Thompson, 2014. Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. *Aquatic Biosystems*, 10, pp.1~13.

Hyo-Jin Kim, Ju-Hee Kim, Seung-Hoon Yoo, 2019. Social acceptance of offshore wind energy development in South Korea: Results from a choice experiment survey. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 113, pp.1~6.

IOPTF(Interagency Ocean Policy Task Force), 2009. *Interim framework for Effective Coastal and Marine Spatial Planning*, Washington DC: IOPTF.

Joshua Lipton, Ece Özdemiroğlu, David Chapman, Jennifer Peers Springer, 2018. *Equivalency Methods for Environmental Liability: Assessing Damage and Compensation Under the European Environmental Liability Directive*, Springer: Dordrecht.

Luke Feinberg, Zach Jylkka, Mengya Tao, Ben White, YingdaXu, 2014. *Evaluating Offshore Wind Energy Feasibility off the California Central Coast*. The degree of Master. Santa Barbara: Bren School of Environmental Science & Management.

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration), 1995. *Habitat Equivalency Analysis: An Overview*, Washington DC: NOAA.

The Scottish Government, 2011. *Marine Scotland: Economic Assessment of Short Term Options for Offshore Wind Energy in Scottish Territorial Waters: Costs and Benefits to Other Marine Users and Interests*, Edinburgh: The Scottish Government.

Unai Pascual, Roldan Muradian, Luke Brander, Erik Gómez-Baggethun, Berta Martín-López, Madhu Verma, Paul Armsworth, Michael Christie, Hans Cornelissen, Florian Eppink, Joshua Farley, John Loomis, Leonie Pearson, Charles Perrings, Stephen Polasky, 2010. *The economics of Valuing Ecosystem Services and biodiversity*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity - Ecological and Economic Foundations.

UNESCO IOC(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Intergovernmental Oceanographic Commission), 2009. *Marine Spatial Planning - A Step by Step Approach toward Ecosystem based Management* -, Paris: UNESCO IOC.

W. Douglass Shaw & Marta Wlodarz, 2013. Ecosystems, Ecological Restoration, and Economics: Does Habitat or Resource Equivalency Analysis Mean Other Economic Valuation Methods Are Not Needed?. *AMBIO*, 42, pp.628-643.

## 기타 문헌

아시아투데이, 2019. “울산시·에퀴노르사와 부유식 해상풍력 사업 추진”, [Online News] <http://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20190506010002751> [Accessed 16 Dec. 2019].

울산매일, 2018. “동해-1 가스전”, [Online News] <http://iusm.co.kr/news/articleView.html?idxno=826152> [Accessed 16 Dec. 2019].

이데일리, 2018. “[미래기술25]② 거대한 부력체 띄워 기둥 심고 날개 설치...바다 위서 전기 캐쥬”, [Online News] <https://m.edaily.co.kr/news/Read?newsId=01292326619407360&mediaCodeNo=257#forward> [Accessed 31 Dec. 2019].

주간경향, 2019. “[지금&이슈] 부유식 해상풍력발전 명당 울산”, [Online News] <https://weekly.khan.co.kr/khnm.html?mode=view&artid=201904011506131&code=115> [Accessed 16 Dec. 2019].

Businesspost, 2019. “울산 해상풍력발전단지 건립에 지역 어민 반대 역풍맞아”, [Online News] [http://www.businesspost.co.kr/BP?command=article\\_view&num=134818](http://www.businesspost.co.kr/BP?command=article_view&num=134818) [Accessed 16 Dec. 2019].

Oh my news, 2019. “장생포 주민들 해상풍력 들어서면 고래 떠날 것”, [Online News] [http://www.ohmynews.com/NWS\\_Web/View/at\\_pg.aspx?CNTN\\_CD=A0002560034&CMPT\\_CD=P0010&utm\\_source=naver&utm\\_medium=newsearch&utm\\_campaign=naver\\_news](http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002560034&CMPT_CD=P0010&utm_source=naver&utm_medium=newsearch&utm_campaign=naver_news) [Accessed 16 Dec. 2019].

Oil Dream(한국석유공사 공식 블로그), 2019. “한국 석유공사 양수영, 부유식 해상풍력발전사업 컨소시엄 구성”, [Online] <https://blog.naver.com/knoc3/221578581451>. naver\_news [Accessed 16 Dec. 2019].