

Study Note

해상풍력발전단지 대안설정 방법 및 평가에 관한 연구

– 해외 사례를 중심으로 –

김진오* · 우경숙* · 김진표**

경희대학교 예술·디자인대학 환경조경디자인학과*, 경희대학교 일반대학원 환경조경학과**

A Study on the Alternative Establishment Method and Evaluation of Offshore Wind Farms

– Focusing on Overseas Cases –

Jin-Oh Kim* · Kyung-Sook Woo* · Jin-Pyo Kim**

Department of Landscape Architecture, Kyung Hee University*
Graduate School of Landscape Architecture, Kyung Hee University**

요약: 최근 국내에서도 많은 해상풍력발전 사업계획과 환경영향평가가 이루어지고 있다. 하지만 육상풍력발전과는 다른 특성을 가지고 있음에도 불구하고 이에 적합한 대안설정 및 평가 방법이 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구는 해외의 가이드라인 및 사례 분석을 통해 국내 실정에 적합한 대안설정 및 평가 방법에 대한 시사점을 도출하고자 하였다. 분석의 결과를 통해 해상풍력발전 대안설정 및 평가 방법의 프로세스를 살펴볼 수 있었으며 이를 통한 세부적인 고려사항 및 방법론을 알 수 있었다. 아직 해외에서도 대안설정 및 평가에 관한 방법론이 명확하지 않고 육상풍력발전에서 사용하던 방법론을 개량하고 발전시켜 사용하고 있었다. 국내에도 이러한 해상풍력사업의 대안설정 및 평가를 위한 체계마련이 필요하며 합리적이고 효율적으로 수행하기 위해서 다양한 분야에서의 연구가 필요하다. 국내 해상풍력발전사업의 성공적인 추진을 위해서는 해외 사례에서 도출된 시사점을 반영한 관련 연구의 촉진과 함께, 환경적, 사회적 수용성을 높이기 위한 지속적인 노력이 필요할 것으로 생각된다.

주요어: 해상풍력발전단지, 환경영향평가, 대안설정, 대안평가, 저감방안

Abstract: Recently, many offshore wind farm project plans and environmental impact assessments have been conducted in Korea. However, despite having different characteristics from onshore wind farm, there is a lack of alternative setting and evaluation methods suitable for this. Accordingly, this study attempted to derive implications for the alternative setting and evaluation method suitable for the domestic situation through overseas guideline and case analysis. Through the result of the analysis, it was possible to examine the process of the alternative setting and evaluation method for offshore

First Author: Jin-Oh Kim, Tel: +82-31-2664, E-mail: jokim@khu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-4229-2120

Corresponding Authors: Kyung-Sook Woo, Tel: +82-31-201-2680, E-mail: meek1126@naver.com, ORCID: 0009-0003-6159-5781

Jin-Pyo Kim, Tel: +82-31-201-2680, E-mail: www12309@gmail.com, ORCID: 0009-0003-6612-0603

Received: 1 July 2024. Revised: 16 July 2024. Accepted: 16 July 2024.

wind farm, and through this, detailed considerations and methodology were found. Even overseas, the methodology for alternative setting and evaluation has not yet been clear, and the methodology used for onshore wind farm has been improved and developed. In Korea, it is necessary to prepare a system for setting and evaluating alternatives to such offshore wind farm projects, and research in various fields is required to carry out them reasonably and efficiently. For the successful promotion of domestic offshore wind farm projects, it is thought that continuous efforts to increase environmental and social acceptance are necessary along with the promotion of related research reflecting the implications derived from overseas cases.

Keywords : offshore wind farm, environmental impact assessment, alternative setting, alternative evaluation, mitigation plan

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2050년 탄소중립이라는 목표를 위해서 전 세계적으로 재생에너지 보급을 위한 노력이 지속, 확장되고 있으며 그 중 해상풍력의 보급량은 지속적으로 증가하는 추세이다(Park et al, 2024). 탄소중립 정책 기조에 맞추어 최근 해상풍력발전 개발사업에 대한 발전사업허가 및 평가 협의가 증가하고 있다(Lee and Maeng, 2022).

해상풍력발전단지의 설치에 해양 환경에 대한 영향, 경관 훼손, 그리고 지역 사회의 수용성 등 여러 도전 과제를 동반한다. 해상풍력발전단지의 성공적인 설치와 운영을 위해서는 사전 계획 단계에서부터 환경적, 경관적, 사회적 영향을 체계적으로 평가하고 관리할 필요가 있다(Kim GY et al. 2012). 특히, 경관의 질 평가가 중요한데, 이는 단지의 위치 선정, 설계 및 운영 단계에서 경관 훼손을 최소화하고, 지역 사회의 수용성을 높이는 데 기여할 수 있다(Kim et al, 2023). 따라서, 해외 선진 사례를 통해 해상풍력발전단지의 대안설정 및 평가 방법을 분석하고, 이를 바탕으로 국내 실정에 맞는 평가 기준과 방법론을 제시하는 것이 중요하다. 해외 가이드라인 사례는 육상풍력발전사업 시 수행되는 시각영향평가뿐만 아니라 해상풍력발전단지가 입지하는 해상 공간의 특성을 고려한 해양경관의 질 평가 체계를 설정하고 있으며, 선진적으로 해양 공간의 경관 관리를 시행하고 있다.

이에 본 연구는 해외 사례를 중심으로 해상풍력발전단지의 대안설정 방법 및 평가에 대해 심도 있게 분석

함으로써, 국내 해상풍력발전사업의 계획 및 실행에 있어 유용한 시사점을 제공하고자 하였다. 특히, 다양한 해외 사례를 통해 해양경관의 질 평가 체계를 비교 분석하고, 국내 실정에 맞는 평가 기준을 제안하고자 한다.

본 연구를 통해 해상풍력발전단지의 대안설정 및 평가에 대한 체계적인 접근 방법을 마련하고, 이를 통해 해상풍력발전사업의 환경적, 사회적 수용성을 높일 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한, 해외 선진 사례를 바탕으로 국내 해양경관 관리 및 평가 체계를 개선하여, 지속 가능한 해상풍력발전단지 개발에 기여할 수 있을 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 해상풍력발전 대안설정 해외 가이드라인 및 사례를 중심으로 한정하여 수행하였다. 해외 가이드라인의 대안설정 및 평가에 관련된 내용과 실제 사례에서 대안설정과 평가에 관한 내용을 중심으로 다루었다. 해당 내용의 경우 가이드라인과 사례 모두 많지 않고 방법론적으로도 고도화되지 못한 실정이므로 문헌고찰을 통한 시사점 도출이 필요한 상황이다. 이에 따라 잉글랜드와 스코틀랜드의 해상풍력 발전단지 대안설정에 관한 가이드라인 두 개와 스코틀랜드의 해상풍력 발전단지 대안설정 사례 1개, 아일랜드의 육상풍력 발전단지 대안설정 사례 1개를 선정하여 분석하였다. 분석에 관한 내용은 Table 1에 정리되어 있다.

연구의 방법으로는 해상풍력발전단지 대안설정 및

Table 1. Research Scope Cases

Classification	Country	Name
Guidelines	England	Guidance on the Assessment of the Impact of Offshore Wind Farms: Seascape and Visual Impact Report
Guidelines	Scotland	Siting and Designing Wind Farms in the Landscape Guidance
Evaluation Case	Scotland	East Anglia TWO Offshore Windfarm Preliminary Environmental Information
Evaluation Case	Ireland	Environmental Impact Assessment Report Proposed Carrowmagowan Wind Farm

평가 가이드라인 및 문헌자료, 해외 사례 고찰을 바탕으로 해상풍력발전 대안설정 및 평가 체계의 흐름을 파악하고, 구체적인 평가 방법과 평가를 위한 절차 및 세부 내용 비교를 통해 국내 실정에 적합한 대안설정 및 평가 제도의 시사점을 도출하고자 한다.

II. 해외 해상풍력발전단지 대안설정 방법 및 평가 사례 분석

1. 잉글랜드 Guidance on the Assessment of the Impact of Offshore Wind Farms: Seascape and Visual Impact Report (2005)

1) 개요

본 지침에서 부지 선정, 레이아웃 및 디자인의 주요 고려사항을 통해 경관 및 시각적 영향을 회피, 저감 및 완화할 수 있는 방안을 제시하고 있다. 해당 지침에서의 방안은 경관 및 시각적 영향을 최대한 줄이는 것이 바람직하다는 것을 전제로 하고 있으며 이를 위해 다양한 해양경관 및 시각적 제약 조건을 지리정보시스템(GIS)으로 중첩하여 분석하고 대안을 설정하도록 유도하고 있다. 또한, 잠재적으로 부정적인 영향을 회피, 저감 및 완화하기 위해서는 다양한 접근 방법을 활용하고 대안의 장점을 발전시키는 반복 수행을 통해 진행해야 한다.

2) 부지 선정 고려사항

본 지침에서는 해상풍력발전단지의 입지 또는 부지의 선정이 해양경관과 시각적 영향을 고려하기 위해 가장 중요한 고려사항임을 밝히고 있다. 또한, 부지의 선정이 이루어지면 레이아웃과 세부 설계 단계를 거치면서 영향을 완화할 수 있는 가능성은 점차 낮아진다. 해당 지침의 부지 선정 고려사항은 다음과 같다. 첫째, 변화를 수용할 수 있도록 민감도가 낮은 해양경관에 개발 비중을 높이는 것을 고려해야 한다. 둘째, 가능한 한 해안선에서 멀리 떨어진 곳에 개발을 위치시키는 것을 고려하여야 한다. 셋째, 지정에 의한 해양경관에서 멀리 떨어진 곳에 개발을 배치하는 것을 고려하여야 한다. 넷째, 가시성을 최소화하기 위해 곳을 활용한 개발 위치를 고려하여야 한다. 다섯째, 이미 산업화되고 개발된 해양경관에 개발 위치를 고려하여야 한다. 여섯째, 기존의 해상 및 육상풍력발전단지와와의 입지 관계를 고려하여야 한다. 이와 같은 부지 선정 고려사항을 나열하고 있으며 이를 고려하여 부지 선정을 진행해야 한다.

3) 레이아웃 및 디자인

본 지침에서는 레이아웃 및 디자인에 대한 사항을 특성에 대응하는 디자인, 시각적 수용체에 대응하는 디자인, 날씨·빛·향에 대응하는 디자인, 네비게이션 마

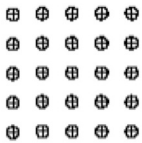
Table 2. Layout and Design Summary

Classification	Contents
Design in Response to Character	<ul style="list-style-type: none"> • The layout of the offshore wind farm can be designed according to the characteristics of the place and the results of the evaluation • Regulators focusing on seascape and visual issues argue that offshore wind farms should appear in a more natural and random layout, but other factors such as marine navigation safety should be considered • Generally, randomly placed layouts look better in irregularly developed rural areas, and geometrically placed layouts look better in regularly developed areas, such as large cities, coastal resorts, and industrial areas

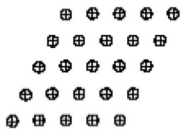
Table 2. Layout and Design Summary

Classification	Contents
Design in Response to Visual Receptors	<ul style="list-style-type: none"> • Repeated work of alternative setup and evaluation is required to modify the project design, such as the location, pattern, and number of turbines, in response to the potential visual impact of the proposed development • Design in response to the results of seascape characteristics evaluation and visual impact analysis, taking into account major constraints such as economic feasibility (wind power generation), technology, and other environmental issues (marine ecology, algae, etc.) in the process • Recommendations related to the design and layout of offshore wind farms shall be presented based on the review of the standard landscape, seascape and visual context • Alternatives should be reviewed using various layout arrangements at key view points to reflect landscape, seascape and visual considerations
Design in Response to Weather, Light and Aspect	<ul style="list-style-type: none"> • In order to proceed with the design, it should be judged according to the geographical location of the site, the direction of the coast, altitude, general weather, and lighting conditions
Design in Response to Navigational Marking Requirements	<ul style="list-style-type: none"> • The guidance recognizes the need to preserve navigation safety and the marine environment and protect the wind turbine itself from collisions with ships under navigation • It is recommended that the offshore wind turbine be marked to be visible day and night, and general visibility and vessel traffic conditions should be considered • Additional requirements may be recommended by the authorities in charge if no appropriate action is taken

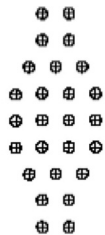
Basic grid (Plan view)



Offset grid (Plan view)



Feathered grid (Plan view)



Random (Plan view)

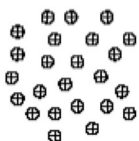


Figure 1. Main Offshore Wind Farm Layouts

킹 요구 사항에 대응하는 디자인으로 나누어 서술하고 있다. 세부적인 내용은 Table 2에 정리되어 있다.

해당 지침에서 이와 같은 레이아웃 및 디자인 고려 사항을 제시하고 있으며 Figure 1과 같이 주요 해상풍력발전단지 레이아웃을 제시하고 있다.

2. 스코틀랜드 Siting and Designing Wind Farms in the Landscape Guidance (2017)







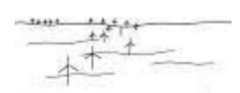

1) 개요

본 지침은 스코틀랜드의 경관에 풍력발전 단지를 배치하고 설계하는 방법에 대한 가이드를 제공하고 있다. 해당 지침에서는 육상 풍력발전과 해상풍력발전 내용을 모두 담고 있으며 해상 풍력발전의 경우 Scottish Natural Heritage의 Offshore Renewables - guidance on assessing the impact on coastal landscape and seascape (2012)를 참조하여 활용해야 한다고 말하고 있다. 본 연구에서는 해당 지침에서 여러 풍력 발전소가 있는 경관에서의 배치와 디자인 부분에 중점을 두어 분석하였다.

2) 대안설정의 개념

본 지침에서는 기존의 풍력발전 단지가 존재하거나 제안되는 경우, 설계 프로세스의 일부로 잠재적인 누적 경관 및 시각적 영향에 대한 전략적 차원의 평가 (Assessment at a strategic level)를 수행하는 것이 중요하다고 강조하고 있으며 한 지역 내에서 누적 영향이 발생할 가능성이 있는 경우에 제안된 모든 개발에 일관되게 적용할 수 있는 디자인 목표를 수립하는 것이 중요하다고 이야기하고 있다. 이와 같이 제안된 디자인과 풍력단지 이미지의 유사성을 확보하여 시각적인 혼란을 제한하고 각 개발 위치 적합성을 강화하여 종합적인 디자인 목표를 통한 대안설정이 필요하다. 또한, 경관 특성에 미치는 누적 영향의 경우 국가단위, 지역단위, 로컬단위 등 다양한 수준에서 나타날 수 있으며 경관의 특성과 가치, 지방 당국의 목표에 따라 달라짐을 제시하고 있다. 해당 지침에서 해상풍력단지와 관련 있는 주요 디자인 목표는 Table 3과 같다.

Table 3. Major design goals for wind farms

			
<p>- Individual wind farm relates directly to landform characteristic as single line upon horizon.</p>	<p>- Several developments relate consistently to key Characteristic of the landscape, but not prevalent and thus remain as separate features.</p>	<p>- Multiple wind farms relate to same characteristic, to create consistent image and reinforce perceived appropriateness of each wind farm. However, by occupying every incidence of specific characteristic, will become key characteristic that affects overriding character.</p>	<p>- Additional wind farms contrast in pattern, scale and relationship to key characteristics, creating a confusing image and questioning relationship of original development to its surroundings.</p>
			
<p>- The key characteristics of the landform are often illustrated most clearly by the skyline. In this open landscape, the skyline has a horizontal emphasis and uninterrupted character.</p>	<p>- Wind farm acts as a prominent focus. Although it does not occupy a major proportion of the skyline, it contrasts to the horizontal emphasis at a local level as a single collective feature.</p>	<p>- Additional development results cumulatively in major proportion of skyline being occupied by wind farms. In addition, its siting and shape does not relate to the skyline feature, nor horizontal emphasis.</p>	<p>- Wind farms cumulatively dominate the skyline feature, although they relate to its horizontal emphasis and simplicity of line.</p>

3) 해상풍력발전단지의 차별성

해당 지침은 육상풍력발전단지를 위해 개발되어 해상풍력발전단지에도 적용가능하지만 Scottish Natural Heritage의 Offshore Renewables - guidance on assessing the impact on coastal landscape and seascape (2012)를 참조하여 해상풍력발전단지의 특징을 반영하고 조정하여 활용해야 한다. 또한, 본 지침에서 나타나는 해상풍력발전단지의 추가 고려사항은 다음과 같다. 첫째, 해안과의 관계, 수로 내 위치 또는 해협과의 관계를 고려해야 한다. 둘째, 터빈의 높이가 화력발전소의 굴뚝, 눈에 잘 띄는 언덕이나 산과 같은 다른 요소 또는 특징과 어떤 연관성을 가지는지 고려해야 한다. 셋째, 주요 해안도로 또는 관광, 교통 경로가 만 내부에 위치하는 경우 규모를 고려해야 한다. 넷째, 새로운 초점으로 주변 환경과 어떻게 관계를 형성하는지 고려해야 한다. 다섯째, 해안에서 주거지를 볼 때와 해양경관을 배경으로 주거지를 겹쳐서 볼 때 어떻게 보이는지 고려해야 한다. 이와 같이 스코틀랜드와 같은 해상풍력발전 사업이 많이 이루어지는 국가에서도 해상풍력발전지 대안설정 및 평가 방법에서 육상풍력발전을 위해 개발된 지침을 참조하여 추가 고려사항을 적용하여 수행

하도록 하고 있다.

3. 스코틀랜드 East Anglia Two Offshore Windfarm (2019)

1) 평가의 개요 및 절차

본 평가 보고서는 East Anglia Two 사업 주체가 수행한 부지 선정과정과 대안평가에 대한 설명을 제공하고 있다. 해당 내용은 해상 및 육상 인프라를 모두 고려하고 있으며 사전 신청 절차를 통해 제안된 프로젝트의 발전과정에 따른 합리적인 대안을 평가하는 것을 포함하고 있다. 또한, 대안설정 및 평가 프로세스의 진행을 통해 합리적인 대안을 설명하고 대안을 선택한 주요 이유를 설명하고 있다.

2) 부지 선정 프로세스 개요

본 보고서에서의 부지 선정 프로세스는 다음과 같다. 먼저 제안된 프로젝트의 부지 선정, 디자인 및 구체화는 환경적, 물리적, 기술적, 상업적, 사회적 고려사항과 엔지니어링 요구 사항 등을 고려하여 진행하였다.

또한, 다양한 분야의 전문가로 구성된 디자인 팀이 부지 선정과정을 진행하였으며 각 단계별로 가장 적합한 위치와 구성을 식별하기 위하여 반복적인 설계과정

Table 4. Examples of strategic-level project design alternatives

Alternatives Considered	Decision	Main Environmental Benefits
① Strategic approach to concurrently delivering the proposed East Anglia TWO project and the proposed East Anglia ONE North project ② No elements of the proposed East Anglia ONE North project considered within the design envelope for the proposed East Anglia TWO project	① Alternative : To take a strategic approach to delivering the proposed East Anglia TWO project and the proposed East Anglia ONE North project	- Co-location of onshore substations for the proposed East Anglia TWO project and the proposed East Anglia ONE North project will keep these developments contained within a localised area and, in so doing, will contain the extent of potential impacts.
① Overhead lines along the onshore cable route from landfall to grid connection location ② Buried onshore cables along the onshore cable route from landfall to grid connection location	② Alternative : Buried onshore cables	- The environmental benefits of burying cables as opposed to overhead lines and pylons is the minimisation of visual impacts.
① HDD of the onshore cables from offshore to onshore ② Open trench cut and direct lay of offshore cables from offshore to onshore (landfall)	① Alternative : HDD of the offshore cables from offshore to onshore	- The environmental benefit of HDD at the landfall removes any possible interaction with the Sizewell Beach SSSI and reduces potential risks associated with coastal cliff erosion in the Thorpeness area - an area with high cliff instability.

Table 5. Zone Appraisal and Planning key objectives and constraints

Classification	Contents
Key objectives	<ul style="list-style-type: none"> • Optimise the development opportunity within each zone through identification of initial boundaries for the most technically and environmentally suitable development sites • Assess cumulative and in-combination impacts across the entire zone and in relation to other nearby offshore windfarm developments and marine activities • Encourage wider stakeholder engagement at a strategic level to help inform the longer term development strategy
Constraints	<ul style="list-style-type: none"> • Civil and military radar coverage and helicopter main routes • Infrastructure • Benthic habitats (including those listed Annex I of the Habitats Directive) • Seascape and visual amenity • Commercial and natural fisheries activity • Ornithology • Conservation designations • Shipping and navigation • Marine archaeology • Physical processes • Underwater noise

을 진행하였으며 설계원칙과 엔지니어링 요구 사항을 기반으로 수행하였다. 마지막으로 프로세스의 개선을 위한 의견 수렴으로 이해관계자, 지역 사회 및 토지 소유주 등 광범위한 참여를 유도하였음을 알 수 있었다.

3) 대안평가 개요

본 보고서에서의 대안평가는 여러 가지 전략적 수준의 프로젝트 설계 대안이 고려되었다. 부지 선정 프로세스에 직접적으로 영향을 미치는 대안에 대한 전략적 고려사항은 Table 4와 같다.

4) 해상풍력 부지 선정 및 대안

(1) 초기 해상 구역 선택

해상풍력발전단지의 입지는 ‘해상 풍력 발전 잠재력’이 있는 적합한 지역으로 식별된 구역을 선정하고 문화유산과 해양경관 및 경관 영향, 생태적, 물리적, 인적 환경 요인 등 다양한 제약 조건을 고려한 반복적인 프로세스를 통해 식별한다.

(2) 구역 평가 및 계획

구역 평가 및 계획 프로세스는 개발이 진행되는 방식을 관리하기 위해 도입한 방식이며 주요 목표와 제약 조건은 Table 5와 같다. 이와 같은 초기 기준 데이터와 제약 조건을 통해 잠재적 개발지역을 도출하게 된다.

4. 아일랜드 Carrownagowan Windfarm (2020)

1) 평가의 개요 및 절차

본 보고서의 4장 대안에서는 프로젝트와 관련된 합리적인 대안과 프로젝트 특정 특성에 대한 설명을 제시하고 프로젝트가 환경에 미치는 영향을 고려하여 선택한 옵션의 주요 이유를 설명하고 있다. 해당 보고서는 육상풍력발전단지의 보고서이며 해상풍력발전 단지에 충분히 참고할 내용이 있어 분석대상에 포함하였다. 또한, 해당 보고서에 포함된 대안은 입지 선택 및 대체부지, 레이아웃과 크기 규모 등의 디자인 대안, 에너지원과 건설 방법 등의 프로세스 대안, 비 개발 대안을 담고 있다.

2) 부지 및 입지 대안

본 보고서에 따르면 부지 및 입지 대안은 3단계의 과정을 거친다. 1단계는 초기심사로 개발이 불가능한 지역을 식별하여 제외시킨다. 2단계는 그리드 제약사항을 심사하여 계통연결을 수용하기 위해 그리드 연결 가능성을 고려하여 평가한다. 3단계의 심사단계에서는 민감한 자원이나 경관 지역, 관광 지역이나 유적지, 산책로 등 조건이 붙는 토지를 추가 분석하여 대상에서 제외시켜 나간다. 다음으로 지역 개발 계획 정책, 연평균 풍속 등 다양한 조건을 통해 추가 검증을 거친다. 부지 적합성 기준은 Table 6과 같다.

Table 6. Summary of Site Conformity Criteria

Classification	Contents
Wind conditions	- Areas with an average wind speed of less than 7 meters per second at 80 meters above the ground were ignored, and the average wind speed was distributed from 7.5 to 10 meters per second within the site
Access to the grid	- The substations that could be considered for the wind farm grid connection include the Ardnakrusha 110kV substation and the Ennis 110kV substation
Compliance with Plan Specification	- According to the wind energy strategy of the Clare County Development Plan (2017-2023), the area is designated as a 'strategic' area and the surrounding area is designated as a 'principle acceptable' area
Avoid Environmental Designation	- There is no designated area within the site, and the area located in the adjacent area is also not of high environmental value
Separation distance from residence	- It is possible to set a separation distance of 4 times the height of the end of the turbine (676m), and to set a larger separation distance
Site accessibility and scale	- The main site access is accessible from the north along the L-8221 local road and is sufficient to develop a large wind farm
Level of visual impact	- Visual impact assessments in the area limit visual impact to the east and northeast due to being located on the northwest slope of the mountain

3) 디자인 대안

본 보고서에서 디자인 대안은 프로젝트의 설계 레이아웃 설정에 중점을 두고 있다. 디자인 대안에 영향을 미치는 인자는 구성 요소의 위치 및 배치, 소음, 주거지와 이격, 서식지, 접근성, 전력망 연결, 경사도, 토탄 및 배수 체계 등이 고려된다. 디자인 대한 프로세스는 반복적인 과정으로 확인된 환경 및 엔지니어링 제약 조건이 후속 레이아웃 설계에 적용될 수 있도록 수많은 대안을 평가하게 된다. 해당 개발 예정지 대안설정에 영향을 미친 물리적 및 환경적 제약 조건의 요약은

Table 7과 같다. 이와 같은 자료를 활용하여 구축 가능 영역을 활용하여 31개의 풍력 터빈을 배치한 레이아웃에서 총 6번의 반복 디자인을 통해 최종 레이아웃을 설정하게 된다. 이를 통해 프로젝트팀의 엔지니어링 및 환경 팀원들이 설계 최적화 접근방식을 통해 현장 조건에 가장 적합하고 합리적인 대안을 설정하게 된다.

4) 결론

본 보고서의 대안 장에서는 개발사업자가 연구한 합리적인 대안에 대한 설명을 제시하고 있으며 검토된 대

Table 7. Physical and environmental sensitivity

Classification	Design Restrictions
Geography and Engineering	- Areas with a slope of 30° or higher are not suitable for development, and areas with a slope of 10° or higher are not suitable for turbine location - Restrictions for gradient, peat, existing roads, drainage and peat experience areas
Sensitive habitat	- Identify the type of habitat on site and minimize the infrastructure within the ecologically valuable habitat
Bat ecosystem	- Acquire 86 m of logging buffer zone in the center of each turbine according to the Scottish Natural Heritage Guides (2019)
Noise and nearby dwellings	- Securing 750m of buffer distance from the proposed turbine location to the nearest residence - Final design provides up to 1km of buffer distance
Ornithology	- A bird survey was conducted for three years, and a buffer zone was applied for the gull and the site's northwest was excluded
Land, soil, and peat	- Peat depth and rock identification - Identify peat slip hazards and construction hazard areas
Hydrology	- Turbines and foundations have a buffer distance of more than 75m as recommended by the Forest Service guidelines
Landscape and visual impact	- Identification of theoretical visibility zones (ZTVs) within 30 km of the planned development site - Consultation with Clare County Council sets priorities for minimizing visual impacts in the east and northeast

안에는 제안된 대규모 풍력발전소 프로젝트 및 특정 특성과 관련된 대안의 설정과 평가가 포함된다. 최종 배치 대안은 여러 분야의 의견을 수렴하고 지형, 생물다양성, 토지 및 토양, 수문학, 경관, 시각 및 공학적 제약 조건과 평가를 고려하여 결정되었음을 알 수 있었다.

III. 해상풍력발전단지 대안설정 및 평가방법 분석의 시사점

1. 해외 해상풍력발전 대안설정 및 평가 분석 결과

해외 해상풍력발전 대안설정 관련 내용을 분석한 결과 개발의 입지에 관련한 대안과 터빈의 레이아웃 즉, 배치에 관련한 대안, 공사 방법 등의 프로세스에 관련한 대안을 설정하고 평가하고 있었다. 이러한 해외 해상풍력발전 대안설정 및 평가의 절차는 Figure 2와 같다. 이에 더해 비 개발 대안이 제시되는데 이는 해당 개발사

업이 이루어지지 않는 경우에 대한 검토를 진행하고 이에 따른 활용에 대한 설명을 수록하고 있다.

2. 해외 해상풍력발전 대안설정 및 평가 사례 분석을 통한 요약

1) 대안설정 및 평가 특성 요약

본 연구에서 도출한 특성은 기존 육상풍력발전단지를 위해 개발된 방법론을 활용하여 해상풍력발전단지 대안설정 및 평가를 진행하고 있다. 하지만, 해상풍력은 육상풍력과 차별화된 특징을 가지고 있으므로 이를 반영하여 조정할 필요성이 있다. 현재는 해상풍력발전 에 특화된 대안설정 및 평가 방법이 부족한 실정이며 이에 따라 추가적인 연구를 통해 방법론을 고도화시킬 필요성이 있다.

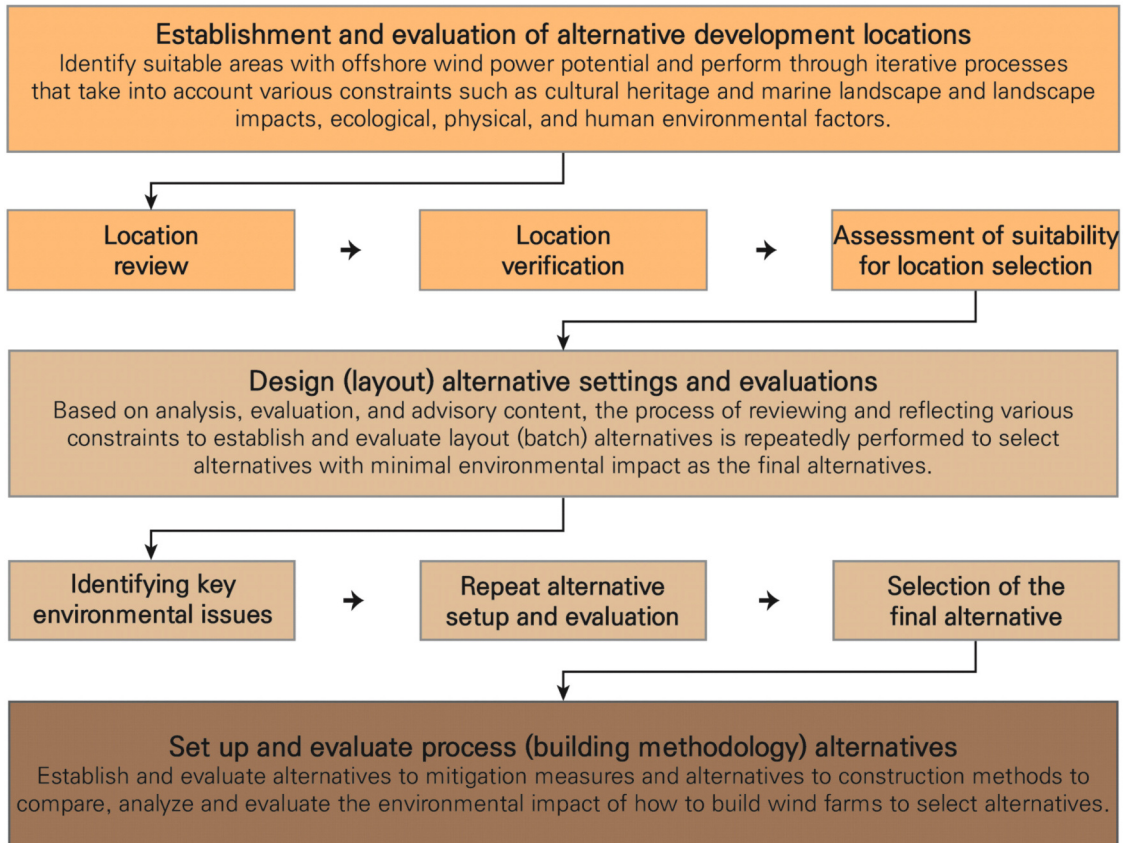


Figure 2. Setting up and evaluating alternative to offshore wind farm process

2) 대안설정 및 평가 핵심 요약

본 연구를 통한 핵심은 대안설정 및 평가를 통해 부정적인 영향을 회피, 저감 및 완화하기 위해 다양한 접근 방법과 대안의 장점을 반영한 반복적인 수행이 필수적이다. 또한, 기존의 풍력발전 단지가 존재하거나 제안되는 경우, 프로세스의 일환으로 잠재적인 누적 경관 및 시각적 영향에 대한 전략적 차원의 평가를 수행하는 것이 매우 중요하다. 그리고 대안설정 및 평가 과정에서 다양한 이해관계자, 지역 사회 및 토지 소유 주 등의 광범위한 참여가 필수적임을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 연구는 해외 사례를 중심으로 해상풍력발전단지의 대안설정 방법 및 평가에 대해 분석하고, 국내 해상풍력발전사업의 계획 및 실행에 유용한 시사점을 제공하고자 하였다. 주요 결론과 시사점은 다음과 같다.

첫째, 사전 계획수립의 중요성이다. 해상풍력발전단지는 대규모 사업으로, 설치되면 20년 이상 장기간 해상에 점용하게 된다. 따라서 사전 계획수립 단계에서부터 경관에 대한 고려가 필수다. 특히 특색 있는 자연 경관지역이나 경관 관련 보전용도지역 등 경관자원에 대한 영향이 예상되는 지역에 대해 신중한 검토가 필요하다. 경관 훼손을 최소화하기 위해 위치 선정 시 경관에 미치는 잠재적 영향을 충분히 평가하고, 경관에 대한 세심한 분석이 선행되어야 한다.

둘째, 경관평가 항목의 확대와 체계화이다. 해상풍력발전단지 경관평가 시 고려해야 할 경관요소들에 대한 검토가 필요하다. 영국, 아일랜드, 스코틀랜드, 미국 등의 사례를 통해 시각적 영향평가뿐만 아니라 경관의 질, 민감도, 가치 등 구체적인 경관평가 항목에 중점을 두고 평가하는 것이 중요하다. 경관 자체를 수용체로 인식하고, 경관의 특성과 민감도를 평가하는 체계를 마련하는 것이 필요하다.

셋째, 지속 가능한 해상풍력발전단지 개발이다. 해상풍력발전단지의 지속 가능성을 확보하기 위해서는 환경적, 사회적 수용성을 높이는 것이 중요하다. 이를 위해 잠재적으로 부정적인 영향을 회피, 저감 및 완화하기 위한 다양한 접근 방법을 활용해야 할 것이다. 예

를 들어, 경관 훼손을 최소화하기 위해 해안선에서 멀리 떨어진 곳에 발전단지를 위치시키거나, 이미 산업화된 해양경관에 발전단지를 배치하는 등의 대안 설정이 필요하다. 또한, 경관 평가 결과를 바탕으로 설계 및 운영 단계에서 지속적인 모니터링과 관리가 필요하다.

본 연구는 해외에서 해상풍력발전단지 사업 시 수행한 사례 및 제도 분석을 통해 시사점을 도출하였다. 본 연구의 결과를 통해 해상풍력발전단지의 대안설정 및 평가에 대한 체계적인 접근 방법을 마련함으로써, 해상풍력발전사업의 환경적, 사회적 수용성을 높일 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한, 해외 선진 사례를 바탕으로 국내 해양경관 관리 및 평가 체계를 개선하여 지속 가능한 해상풍력발전단지 개발에 기여할 수 있을 것이다. 국외 사례에서도 알 수 있듯이 현재는 육상풍력발전사업의 방법론을 활용하고 있으며 해상풍력발전의 특징에 맞는 추가적인 고려사항을 반영하여 진행하고 있는 실정이다. 이에 따라 해상풍력발전사업이 활발해짐에 따라 관련 방법론도 고도화될 필요성이 있다. 국내 해상풍력발전사업의 성공적인 추진을 위해서도 해외 사례에서 도출된 시사점을 반영하고 경관평가 체계의 구축과 함께, 환경적, 사회적 수용성을 높이기 위한 지속적인 노력이 필요할 것이다.

사사

본 논문은 한국환경연구원의 지원을 받아 해상풍력발전단지 누적영향평가 및 대안설정 방안 연구(연구용역-계약번호202306059B9)의 연구내용 일부를 수정 및 보완한 것임.

References

- Department of Trade and Industry. 2005. Guidance on the Assessment of the Impact of Offshore Wind Farms: Seascape and Visual Impact Report
- Kim GY, Lee DI, Jeon KA, Eom KH, Yu J. 2012. Improvement for Marine Environmental Impact Assessment on the Development of Offshore

- Wind Power. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(1): 1-13. [Korean Literature]
- Kim JO, Min BW, Woo KS, Kim JP. 2023. Development and Utilization of Evaluation Methods for Offshore Wind Farm Landscape Quality Assessment. *Journal of Environmental Impact Assessment* 32(6): 577-589. [Korean Literature]
- Landscape Institute, Institute of Environmental Management & Assessment. 2014. Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment (GLVIA) 3rd edition.
- Lee HM, Maeng JH. 2022. A Study on Implications and Improvement Plans for the Developing Consultation Guidelines for Environmental Assessment of Offshore Wind Power Development Projects, *Journal of Environmental Impact Assessment* 31(6): 449-464. [Korean Literature]
- Malachy Walsh and Partners. 2020. Environmental Impact Assessment Report Proposed Carrownagowan Wind Farm.
- Park MC, Park JH, Lee GY, Lee CM, Yu GH, Jang HW, Park HS. 2024. Consideration on Pre-Feasibility Studies for Large-scale Offshore Wind Farms Led by Local Governments, Focusing on the Case of Shinan-gun. *New & Renewable Energy* 20(2): 65-70. [Korean Literature]
- Scottish Natural Heritage. 2012. Offshore Renewables - guidance on assessing the impact on coastal landscape and seascape.
- Scottish Natural Heritage. 2017. Siting and Designing Wind Farms in the Landscape Guidance Version 3a.
- Scottish power renewables. 2019. East Anglia TWO Offshore Windfarm Preliminary Environmental Information.