



해상풍력발전단지 설치에 따른 자연경관영향 평가 시 시각적 인지 높이 측정 방법 연구

Research on Measuring Visual Perception Height in Assessing the Impact on Natural Scenery due to the Installation of Offshore Wind Farm Complexes

노준희* · 정일훈**

Nho, Jun-Hui · Chung, Il-Hoon

Abstract

South Korea has responded to climate change and energy resource problems since 1988, and in 2005, the Act on the Promotion of New and Renewable Energy Development, Utilization, and Supply had been enacted. Research on offshore wind power pilot projects began in 2005, but the evaluation guidelines for understanding the impact on marine landscapes still rely mainly on qualitative methods. Therefore, this study proposes a quantitative evaluation methodology for offshore wind power generation, which has been increasing recently, and intends to present the analysis results.

In this study, a viewpoint was selected to measure the perceived height of the wind turbine at specific points within the pre-built offshore wind power plant. As a result of analyzing the protruding landscape of viewpoint and wind turbine, it was found that the wind turbine was higher than the surrounding islands as the height of the viewpoint increased from viewpoints 2 and 3. In addition, a Z-Score analysis was conducted on the perceived height value at each viewpoint to evaluate the visual impact of the wind turbine on the landscape when viewed from a distance. It was found that a wind turbine installed at a distant maritime location had minimal visual impact on the surrounding environment.

This study expects a more detailed and precise evaluation to be possible by using quantitative indicators, instead of the traditional qualitative indicators for long-distance landscape analysis of marine space and land.

주제어 해상풍력, 경관, 자연경관, 시각적 높이, 시각 인지 높이

Keywords Offshore Wind Power, Landscape, Natural Scenery, Visual Height, Visual Perception Height

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 기후 변화 및 에너지 자원 문제를 해결하기 위하여 1988년 대체에너지개발촉진법을 제정하였으며, 2005년에 “대체에너지개발촉진법”을 “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급

촉진법”으로 변경 제정하였다.

법령상 재생에너지란 “태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열 에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지” 등이 있으며, 이러한 에너지는 모두 자연에서 나오는 에너지를 우리의 실생활에 사용 가능한 에너지(전기, 열 등)로 변환하는 것을 의미한다(국가법령정보센터, 2022, “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조 2호”). 이러한 에너지를 얻기 위해서는 특정 에너지를 변환시키기 위

* Doctorate Student, Department of Urban Information Engineering, Anyang University (First Author: 7013114@hanafos.com)

** Professor, Department of Urban Information Engineering Anyang, University (Corresponding Author: ihchung@anyang.ac.kr)

한 물리적 공간과 장비 등이 필요하며, 물리적 공간 조성은 개발 사업에 대한 법적 테두리에서 평가(전기사업법)를 받아 조성하게 되어있다. 이 중 풍력에너지는 육지와 해상에서 설치가 가능한 시설로서 1975년 한국과학원에서 경기도 화성에 설치한 공식적인 국내 최초 육상풍력발전기로 기록되어 있으며, 최초의 상업용 해상풍력은 2017년 제주도에 설치한 탐라해상풍력발전단지가 최초로 기록되어 있다.

특히 해상풍력은 2005년 해상풍력 실증연구 단지 조성을 위한 연구가 시작되었으며, 현재에 이르러 지속적인 해상풍력 단지 설치에 대한 요구가 늘어나고 있는 추세이다.

그러나 해상풍력의 경우 바다라는 자연적 공간에 설치하는 사업임에도 불구하고 이에 따른 환경적 영향을 파악하기 위한 평가 지침 등이 다소 미흡한 실정이며, 최근 이를 보완하기 위하여 2022년 1월 육상풍력발전 및 해상풍력발전 관련 환경성 평가 협의 지침이 제정되었으며, 이 지침 이전 2021년 6월에는 해상풍력발전 환경조사 평가 매뉴얼이 발간되었다.

이러한 평가 지침 중에서도 자연경관에 대한 평가는 해상, 해안, 육지부를 연결하는 우리 국토 전반에 걸친 경관에 대한 평가를 수행해야 하지만, 구체적인 조망점의 선정 기준과 시뮬레이션 방법 등에 대한 지침은 일반적인 자연경관 평가 방법을 따르고 있어, 해상에 설치되는 풍력발전기에 대한 적절한 평가를 수행하는데 한계가 있다. 이는 원거리에서 설치되는 풍력발전기의 시각적 영향을 정확히 측정하는 데 어려움을 초래한다.

따라서 본 연구는 해상풍력 발전소의 시각적 영향을 예측하기 위해 조망점 위치에 따른 시설물의 크기 변화를 지구의 곡률에 근거하여 계산하고, 사람이 풍력발전기를 어떻게 인식하는지에 따른 높이를 시차삼각법에 따라 계산한다. 또한 이를 통해 현재 해상에서 이루어지는 사업의 자연경관영향 평가 시보다 정량적 평가를 할 수 있을 것으로 기대되며 육지부에서 각종 개발사업 시행되는 경관평가에 적용할 경우 기존의 정성적 평가가 아닌 정량적 평가의 지표를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구의 방법 및 범위

1) 연구의 방법

본 연구를 수행하기 위해 기존에 건설되어 운영 중인 해상풍력발전단지를 선정하고, 이를 평가하기 위한 조망점을 선정하였다. 각 조망점에 대해 지구곡률 반경과 지구 대기곡률 계수를 적용하여 풍력발전기의 실제 높이값을 계산하였고, 시차삼각법을 통해 실제로 눈으로 보이는 크기(높이)를 산출하였다. 더불어, 해당 풍력발전기와 주변 환경을 비교할 수 있도록 지형의 높이값을 계산한 후 주변 지역과의 차이를 비교 분석하였다. 마지막으로 실제 조망점에서 촬영한 사진을 활용하여 현재 운영되고 있는 풍력발전기의 높이와 주변 환경과의 높이 차이를 분석하였다(Figure 1).

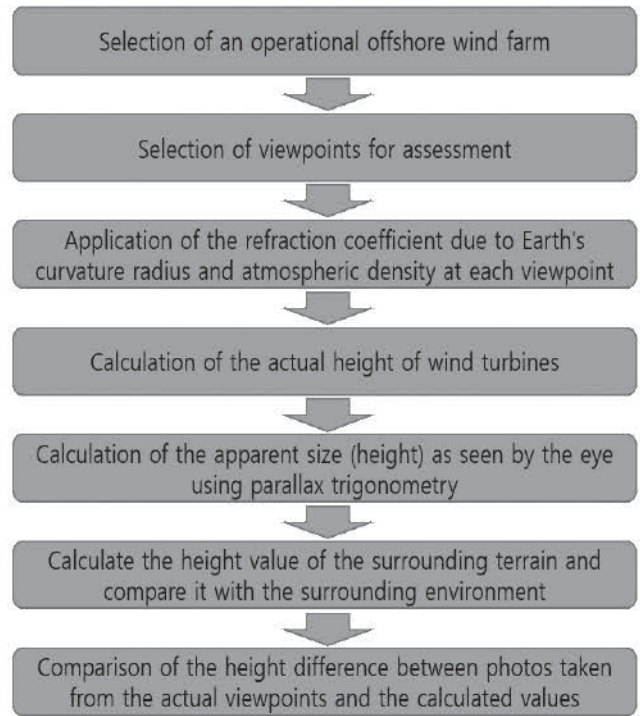


Figure 1. Method of the study

2) 연구의 범위

본 연구를 수행하기 위하여 선정된 기 건설된 풍력발전 단지는 전북 부안군에 위치한 해상풍력 실증 단지로 선정하였다. 해상풍력 실증 단지는 2011년 시작된 사업으로 발전 허가를 2016년에 받아 2020년 1월에 준공되어 운영 중에 있다. 해상풍력 실증 단지는 육지에서 약 10km 지점에 위치하고 풍력발전기 총 20기와 해상 변전소를 설치하여 운영하고 있으며, 이중 풍력발전기는 해수면에서부터 풍력발전기 블레이드 높이까지 약 130~157m의 높이를 가지고 있다.

특히 이 실증 단지는 육지에서 조망이 가능하며, 인근 지역에는 위도, 안마도, 송이도 등 높이를 비교할 수 있는 섬 경관이 함께 조망될 수 있다. 이러한 지역 특성은 해상 섬과 어우러진 자연경관과 비교 평가하기에 매우 적절한 조건을 제공한다.

II. 이론적 배경

1. 선행연구 분석

본 연구를 진행하기 이전에 선행연구를 검토하여 연구 방법의 근거를 마련하였으며, 본 연구에서 고려해야 할 점을 확인하였다.

1) 시각인지 관련 국내 선행연구 분석

임갑대(2007)는 “물체를 바라볼 때 효과적인 크기를 전달 하는 방법을 연구하였다. 연구에서는 크기 비교 방식을 통하여 사물의 전체적 크기를 인지시킨 후 화면상의 크기를 실제 크기로 적용하

여 인지시키는 것이 효과적인 방법임을 제안하였다.”

또한 이러한 크기 인지하기 위해서 “3가지 디스플레이유형에 대한 실험을 하였는데 A유형은 유사 모양과 수치정보 제공을 통한 비교, B유형은 공간적 정황을 통한 지각, C유형은 스크린상의 표현”에 대하여 실험을 진행하였다.

실험 결과 “A유형은 수치정보는 물체의 크기정보를 획득하는데 도움이 되거나 효과적이지는 않지만, 물체의 수치정보는 신뢰할 수 있는 객관적 참고정보로 필요성을 나타냈으며, B유형은 물체의 크기 정보를 제공하는 비교적 추천할 만한 방법이라고 하였다. 마지막으로 C유형은 물체가 클 경우 물체의 실제 크기만큼을 화면상에 제공하여 보다 면밀히 물체를 관찰할 수 있기 때문에 긍정적이라는 결론을 도출”하였다.

결론적으로 연구에서는 “화면의 사물 크기가 시각적으로 실제 인지되는 물체의 크기와 동일하게 인지할 수 있는 보편적인 설정 방법이 중요하다고 하였으며, 실험에서 제시된 디스플레이 유형에 따른 사물의 크기는 표현방법 및 속성이 다르기 때문에 두 가지 이상이 유형이 사용되어야 하고 이때 유형별 변환 시 중간 매개체 역할의 존재가 있어야 한다”고 하였다.

한준수 외(2014)는 “그래픽 기반의 가상 카메라(3D 프로그램에서 사용되어지는 가상 카메라)를 이용하여 사진의 물체에 대한 메타데이터를 측정하고 과거사진을 통한 물체의 크기 측정 방법에 대하여 연구”하였다.

연구에서는 “과거 촬영된 사진의 카메라 촬영 정보를 3차원 객체(Modeling)와 3D 프로그램의 가상 카메라를 통해 추정하는 방법을 제시하였다. 그리고 이때 사용되는 가상 카메라의 특성을 확인하기 위하여 가상카메라의 촬영거리, 촬영높이, 초점거리의 변화에 따라 피사체가 어떻게 보여지는지를 연구”하였다.

이 연구에서는 “피사체를 촬영하는 거리에 따라 1m 이격시 상의 크기가 약 2.3% 감소하는 것을 확인하였으며, 촬영높이의 변화에 따라 상의 모양이 세로 비율에 영향을 미치는 것을 분석하였고 카메라의 초점거리가 짧아질수록 거리감은 더 멀게 보이게 한다는 것을 확인”하였다.

2) 경관 평가 관련 국내 선행연구 분석

임승빈(1988)는 경관평가의 주관적 판단을 최소화하기 위하여 경관을 현상학적으로 접근하는 틀을 마련하였다. 연구에서는 경관의 현상학적 분석을 위하여 경험적 고찰, 개방적 인터뷰, 분류법 및 다차원 분석 기법의 세 가지로 분류하였다. 이러한 “현상학적 접근에서는 개인의 선호도, 느낌을 경관평가의 주요 기준으로 삼고 있으나, 일정 집단의 평균적 반응보다는 개개인의 다양한 반응, 느낌, 의미 등을 더욱 중요시 여긴다.” 결국 이러한 현상학적 경관 평가 방법은 “기존의 계량적 혹은 과학적 방법이 지닌 단점을 보완할 수 있는 가성을 보여준다”고 하였다.

임승빈·신지훈(1995)은 “건축물의 규모를 중심으로 경관영향

평가를 위한 물리적 지표를 설정하기 위해 도시경관과 자연경관 별로 건축물의 높이, 폭, 스카이라인의 침해 정도에 따른 경관미를 측정”하였다. 연구에서는 “자연경관의 경우 건물이 배경 스카이라인을 따라 수평적으로 다소 길어지더라도 건축물의 높이가 배경 스카이라인보다 낮으면 어느 정도 경관미가 높은 것으로 나타났다”를 알 수 있다.

박병규(2013)는 “조망경관 평가를 위한 경관 시뮬레이션의 신뢰도 제고 연구”를 수행하였으며, 연구에서 사례지구를 선정하여 각각의 조망점에서 28mm, 35mm, 50mm, 70mm 카메라 렌즈를 활용하여 사진을 촬영한 후 이를 사후 시뮬레이션을 통하여 각각 분석하였다.

이 연구에서는 실제 경관심의를 통과한 사례를 토대로 정확한 수치값을 가지고 시뮬레이션을 실시하였으나 시뮬레이션 작업자의 수준(전문성)과 촬영 시 기준 등에 의하여 오류가 발생할 수 있음을 연구하였다.

3) 시각 인지 관련 해외 선행연구 분석

Cutting과 Vishton(1995)은 “인간이 왜 눈으로 보는 환경에 대하여 다양한 정보를 활용하는지, 그리고 이러한 정보가 어떻게 서로 상호 작용하며 우리의 공간 인식을 강화하는지에 대한 연구”를 수행하였다.

연구에서는 “눈으로 보는 환경에 대한 정보의 다양성은 인간이 중요한 정보를 얻는 방법으로, 각 정보 소스가 중복되어 제공되어 하나의 소스가 실패할 경우에 대비할 수 있게 하며, 각 정보 소스가 서로를 강화하고 대비시키는 역할을 한다고 하였으며, 이러한 다양한 정보는 동일하거나 다른 형태의 함수를 공유하며, 거리에 따라 차이가 나타나기도 한다고 하였다. 이러한 차이는 공간 인식의 정확성을 높이는 데 도움을 주며, 특히 인간이 행동하거나 관찰할 수 있는 가까운 거리에서 해상도를 향상시킨다”고 하였다.

또한 연구에서는 “이러한 외부 환경, 공간, 거리를 균일한 개념으로 보지만 실제로는 다양한 정보가 조합되어 각기 다르게 인식되는 세 가지 공간이 있음을 주장”하였다.

결론적으로 이 연구는 “외부환경 인식에 대하여 보다 깊은 이해를 위해 다양한 정보들이 어떻게 상호작용하며 서로를 제약하는지를 연구의 초점으로 맞추어 연구하는 것이 중요”하다고 하였다.

Loomis와 Philbeck(1999)는 “물체의 시각적 척도가 크기 변화에 따라 일정하게 유지되는지를 중점으로 연구하였다. 해당 연구에서는 물리적 거리가 동일하면서 인지적 거리가 변하지 않는 상황을 고려하였을 때 대상의 인지적 모양 변화는 대상의 높이와 함께 더욱 극적으로 나타나게 되고 이를 통해 공간적 범위의 지각은 위치 지각과 어느 정도 독립적이라는 결론을 도출”하였다.

이 연구는 대상 “형태의 인식이 거리에 따라 어떻게 변하는지를 조사하였고, 이는 대부분 광학적 기울기(optical slant)에 의

해 결정되는 것으로 나타났다. 또한, 인식된 형태와 크기의 인식은 독립적으로 결정된다고 하였다. 즉, 크기가 다른 두 개의 3D 구성물은 형태 측면에서는 동일하게 보일 수 있지만, 크기 면에서는 크게 다르게 보일 수 있다는 것을 의미한다.

그리고 연구에서는 “자기 중심 거리의 인식에 대하여 시각 정보가 부족한 극단적인 거리에서 지각된 자기 중심 거리는 궁극적으로 한계에 도달하게 된다”고 하였다.

4) 해상 경관 평가 관련 해외 선행연구 분석

김진오 외(2023)는 해상풍력발전단지 경관의 질 평가 기법에 관한 연구를 해외가이드라인 사례를 중심으로 수행하였다.

이 연구에서는 우리나라보다 먼저 해상풍력발전단지를 도입하고 이에 대한 경관영향 평가를 실시한 England, Ireland, Wales, Scotland, United States, Australia and New Zealand의 평가 방법에 대한 분석을 실시하였다.

연구에서는 각 나라별 공통으로 경관의 질 평가 시 “영국의 IEMA에서 1995년 최초 발간한 「Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment (GLVIA)」(현재 3rd edition, 2014)와 영국 정부의 「Guidance: Landscape and seascape character assessments」에 기반하여 이론적, 절차적 근거를 활용하고 있으며 대체적으로 해양 경관 및 시각적 수용체 두 가지 민감도 즉, 해양경관자원 자체의 영향(물리적 해양경관이 수용체)과 시각적 영향(심리적 영향을 받는 사람과 그 활동이 수용체)으로 구분하여 평가”하고 있음을 연구하였다.

5) 선행연구 시사점

선행연구를 검토한 결과, 사람이 공간에서 물체를 인지할 때 여러 가지 정보들에 의해 뇌가 인식한다는 것을 알 수 있었다. 또한 크기가 다른 형태의 객체의 경우 형태는 동일해보일지 모르지만 실측거리나, 인지된 거리 등에 의해서 크기가 변화하는 것을 알 수 있었다. 그러나 인지된 거리와 주변 환경에 대한 정보가 부족할 경우 그 크기나 물체를 인지하는 과정에서 궁극적인 한계에 이를 수 있다는 점을 확인하였다.

따라서 사람이 어떠한 객체를 인지할 때에는 주변 환경과 비교를 하여 살펴보는 과정이 필연적으로 이루어질 수밖에 없으며, 실제 환경에서 객체를 보거나 촬영된 화면에 대하여 객체를 인지할 때에는 객체까지의 거리, 보는 높이, 초점거리 등에 의하여 영향을 받기 때문에 이러한 특성에 대한 보다 정확한 정보를 습득하는 것이 필요하다.

특히 경관 평가와 관련하여 국내 연구에서는 경관의 변화됨에 따른 변화를 시뮬레이션을 활용하여 실시하고 있으며, 이러한 경관 평가를 위한 방법이 연구되기는 하였으나 실제 수치화된 자료를 비교하는 방법이 없고 특히 해상풍력과 같이 원거리에 설치되는 사업의 경우 해외의 평가 방법 등을 인용하여 평가하나 해외의

평가 방법 역시 원거리의 해상풍력에 대하여 수치화된 자료를 통한 분석이 미비함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 사람이 풍력발전기를 조망할 경우 조망점에 대한 정보, 주변 지형지물(섬 또는 육지부의 지형 지물 등)에 대한 정보, 그리고 지구 환경적 영향에 의한 실제 인지되는 거리 등을 바탕으로 시각적으로 인지하는 높이나 크기에 대하여 수치화할 수 있는 자료를 산출하고 이와 함께 시각적 자료를 함께 비교하여 평가하는 것이 가장 적절한 것임을 알 수 있었다.

2. 국내 일반적 자연경관 평가 방법 및 해상풍력 경관 평가 방법 분석

1) 일반적 자연경관 평가 방법

일반적인 자연경관 평가 방법은 2006년 1월에 환경부 예규 270호로 지정된 “개발사업 등에 대한 자연경관심의 지침(국가법령정보센터, 2023)”에 의거하여 평가를 하게 된다. 이 중 조망점과 관련하여서는 이용 특성, 경관 특성, 경관 변화 및 시설물 입지 등을 고려하여 조망점을 선정하도록 되어 있으며(Table 1), 선정된 최종 조망점에 대하여 현장 사진을 촬영하고 시뮬레이션을 통하여 개발 전후 경관 변화를 평가하도록 되어 있다(Table 2).

특히 평가 방법과 관련하여서는 보전 대상 자연경관의 훼손 여부를 주요 조망점에서 조망경관 확보 여부를 기준으로 하고 있으며, 주요 조망점에서 7부 능선 이상 조망 여부를 스카이라인 경관 유형으로 설정하여 평가하도록 되어 있다.

2) 해상풍력 경관 평가 방법

일반적 자연경관 평가 방법 이외에 해상풍력 발전단지의 환경영향 평가 중 경관평가 방법에 대하여 환경부에서는 2021년 6월에 “해상풍력발전 환경조사·평가 매뉴얼”을 발간하였으며, 이 중 경관과 관련하여 심의기준을 <Table 3>과 같이 제시하였다.

상기 매뉴얼에서 주목할 만한 점은 위압 및 돌출감을 평가하기 위하여 구조물의 실제 조망 높이와 수평선과 구조물과의 조망각을 제시하도록 되어 있는 점을 들 수 있으나 이러한 조망각을 산출하는 방법은 매뉴얼상 제시되어 있지 않다.

3) 평가방법 분석 시사점

현재 운영되고 있는 평가 방법을 분석한 결과 일반적인 자연경관 평가 방법에서 특정 사업과 관련하여 조망점 선정 및 조망점에 따른 평가 방법은 사진과 합성하여 기존 경관의 전후 맥락을 비교하는 시뮬레이션 방법을 택하고 있으며, 해상풍력과 관련된 경관의 평가 방법으로는 실제 위압 및 돌출감에 대한 경관 훼손 여부를 살피기 위하여 구조물의 실제 조망 높이 및 수평선과 구조물과의 조망각을 제시하도록 되어 있다.

그러나 상기 현재 운영 중인 방법 중 시뮬레이션에만 의존하는

Table 1. General method of selecting viewpoints

Category	Main contents
Usage characteristics	<ul style="list-style-type: none"> - Consideration of places with high visitor traffic and provision of actual viewpoints through visibility analysis - Key Modules of major roads with high population density or heavy traffic - An axiomatic place primarily used for public activities - Areas where local community opinions are gathered
Landscape characteristics	<ul style="list-style-type: none"> - Areas with views of landscapes of special value - Areas where regional natural landscape features are visible - Foregrounds at main entrances, foregrounds with major tourist resources as a backdrop - Surrounding areas of sites where major planned facilities can be observed - First-class areas marked in the ecological natural map and results of the national natural environment survey related to natural landscapes - Results of the national natural landscape survey by the Ministry of Environment - Scenic spots and natural monuments designated by the Cultural Heritage Administration - 'Top 100 Livable Local Resources' by the Ministry of the Interior and Safety - 'Top 100 Beautiful Fishing Villages' by the Ministry of Oceans and Fisheries - 'Top 100 Beautiful Roads' by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport - Finalists of landscape resource contests organized by other government ministries - Excellent landscape resources and viewpoints selected by local governments

Source: Guidelines for Natural Landscape Deliberationon Development Projects, etc. (Korean Law Information Center, 2023.04.10.)

Table 2. Criteria for determining damage by natural landscape type

Landscape type	Determination of damage
Skyline	- Visibility of more than 70% of the ridge line from major viewpoints
Forest and greenery landscape	Natural green area - Whether to view landscape resources from the main viewpoints (Conservation green, rocks, peaks, waterfalls, etc.)
	Urban green areas - Green areas within the urban area from the main points of view
	River landscape - Continuous landscape consideration
Water landscape	Coastal and islands - Coastal and island views from surrounding areas
	Lakes and wetlands - Consideration of changes in external landscape at the viewpoint of the interior
Rural landscape	- Whether it is harmonious with the existing landscape
Historical and cultural landscape	- Formation of overbearing landscapes around
Ecological landscape	- Consideration of changes in external landscape at the viewpoint of the interior

Source: Guidelines for Natural Landscape Deliberationon Development Projects, etc. (Korean Law Information Center, 2023.04.10.)

Table 3. Damage during the environmental survey and evaluation manual for offshore wind power generation

Category	Review items	Details
Damage status	Pressure and protrusion	<ul style="list-style-type: none"> - Displaying the skyline of the rear island and the horizon - Presentation of the distance from the coastline and islands and the height of the structure - The actual view height of the structure and the angle of view between the horizon and the structure
	View landscape	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation and technology of the degree of recognition, such as identification of the structure's shape - Blocking and obstructing coastal views from key viewpoints
	Harmonization with ambient landscape characteristics	- Classifying the types (sand beach, tendon, gravel, rock, island landscape, etc.) of landscapes by view point and suggesting whether the detailed landscape is damaged
	Ecological landscape	- Presenting overlapping locations of migratory birds, migration routes, and structures

Source: Environmental Survey and Evaluation Manual for offshore wind power generation (Ministry of Environment, 2021.06.)

일반적인 경관평가 방법의 경우 평가자의 자의적 해석으로 인한 평가 결과의 정합성을 갖추기 어려우며, 최근 발간된 매뉴얼에 따른 해상풍력발전 경관평가 방법에서 제시하도록 되어진 위압

및 돌출감의 평가를 위한 조망각의 제시는 그 방법이 정의되어 있지 않아 평가자 및 평가준비자의 어려움을 야기하고 있다. 따라서 상기 현재 운영되고 있는 평가 방법과 더불어 본 연구에

서 제시된 방법을 활용하여 보다 명확한 수치를 제시하고 이에 따라 평가를 진행하는 것이 필요한 것임을 알 수 있었다.

3. 기술적 근거 검토

1) 지구 반지름의 크기 및 밀도에 따른 빛의 굴절 보정

지구는 완벽한 구 형태는 아니지만 대체적으로 오블레이트 스페로이드(oblate spheroid)라는 약간 납작한 구 형태를 나타낸다. 따라서 지구의 적도 반경은 약 6,378km이며 폴라반경(북극과 남극 사이의 거리)보다 약간 더 길게 측정되어 진다. 이때 지구의 대기는 지표면 근처에서 높고, 높이가 높아질수록 낮아진다. 이로 인하여 빛은 아래로 약간 굴절하게 되는데, 이러한 현상은 빛이 조금 더 멀리까지 도달할 수 있게 하여 수평선 및 지평선이 조금 더 멀리 보이게 한다. 따라서 이러한 효과를 보정하기 위하여 3.86의 보정값을 적용하여 대기 밀도에 따른 빛의 굴절을 보정해 주어야 한다(Figure 2).

2) 시차삼각법(연주시차)

시차삼각법(연주시차)은(Figure 3) 지구가 공전함에 따라 별의 위치가 상대적으로 이동해간 거리를 측정 방법 중 하나로, 천문

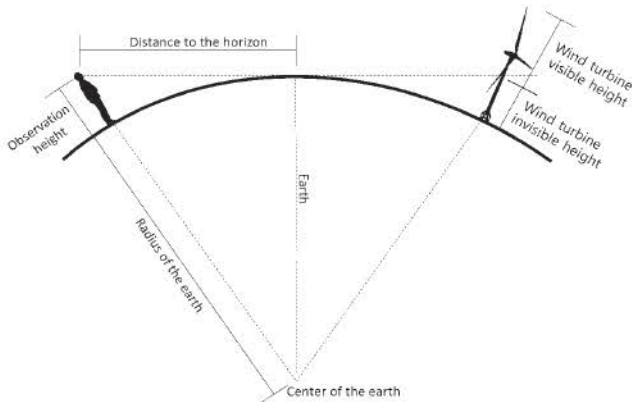


Figure 2. Measure distance to horizon

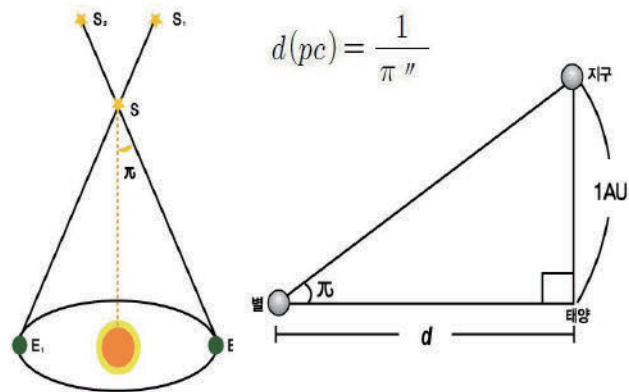


Figure 3. Parallax Trigonometry (Annual Parallax) concept

Source: <https://astro.kasi.re.kr/learning/pageView/5214>

학에서 사용하는 방법이다. 이 방법은 두 관찰지점에서 동일한 천체를 관찰하고 그 관찰지점 간의 거리와 천체와의 각도 차이를 사용해 천체까지의 거리를 계산하는 방식이다. 이 방법은 근처의 별에 대해 가장 정확한 결과를 제공하지만, 거리가 멀어질수록 더 큰 불확실성을 가지게 된다.

3) 기술적 근거 시사점

본 기술적 검토에서는 풍력발전기와 주변 환경을 보다 수치적으로 이해할 수 있도록 하기 위한 방법으로 지구의 곡률 및 지구 대기의 압력 차이 때문에 발생하는 빛의 굴절 값과 원거리의 풍력발전기가 시각적으로 인지되는 높이값을 측정하기 위하여 원거리의 별 또는 행성까지의 거리를 측정하는 시차삼각법(연주시차) 등을 활용하는 방안을 검토하였다. 본 방법들을 응용하면 우선 조망점에서 시각적으로 인지되어지는 수평선까지의 거리의 계산 값을 산출할 수 있으며, 이러한 수평선까지의 거리에 따른 원거리의 풍력발전기의 실제 보이는 높이값을 구할 수 있고, 이러한 높이값에 따라 시차삼각법과 시차각을 이용하여 풍력발전기가 사람의 눈으로 인지되는 시각적 인지 높이값을 측정할 수 있어, 기존의 단순 시뮬레이션을 통한 주변환경과의 높이값 비교를 보다 효과적으로 할 수 있을 것으로 보여진다.

III. 연구수행

1. 선행조건 설정

상기 선행연구와 이론 및 기술적 근거를 바탕으로 사람의 눈으로 보여지는 풍력발전기의 시각적 높이를 계산하기 위해서는 기상상황, 관찰자의 시점, 지구 반지름, 지구 대기 밀도에 따른 빛의 굴절 등 다음과 같은 몇 가지 조건이 전제되어야 한다(Table 4).

특히 본 연구에서는 최종적으로 실제 사진을 활용하여 계산된 수치와 비교를 하여야 하나, 사진을 촬영할 당시의 현장 상황에 의하여 발생된 사진의 해상도 및 일기에 따른 오차는 본 연구에서 배제하였다.

2. 용어의 정의

상기 조건들을 고려하여 풍력발전기를 눈으로 볼 때의 높이를 측정하기 위한 각각의 용어를 정의하였다(Figure 4, Table 5).

상기 조건을 기준으로 관측자의 높이 1.6m, 해발고도 15m, 구조물 높이 5m인 위치에서 조망점에서부터 거리가 20km에 높이가 262m인 풍력발전기를 조망하였을 경우, 수평선까지의 거리는 32.61km이며, 실제 풍력발전기가 보이는 높이값은 262.0m 이고(풍력발전기가 수평선 안쪽에 위치하기 때문에 전체 풍력발전기가 모두 조망되는 것으로 판단), 이를 기준으로 계산된 사람

Table 4. Conditions precedent

Condition	Conditional content
Weather conditions	Weather conditions with maximum visibility (ex. Conditions without minimum fine dust index, sea fog, fog, etc.)
Observer's viewpoint	The observer's viewpoint is more accurate with 2-point loss, but considering the fact that the observer's height value changes due to wave height at sea, 1-point loss is set as the standard
Radius of the earth	The Earth has an ellipsoidal shape, but the radius of 6,378 km is applied in general calculations
Refraction of light by the density of the Earth's atmosphere	The lower part of the Earth's atmosphere is denser and the upper part is denser, so light is refracted toward the surface due to differences in density, and to take this into account, the refractive index of light (3.86) according to the Earth's atmosphere is applied
Height of the viewpoints	The view (observation) height comprehensively considers the elevation above sea level (the height value to the floor of the ship at sea) and the height of the structure at the observation point
Error values such as photos and simulations	In general, there is no photograph or simulation that creates a scene the same as a human eye, and the resulting error value is excluded because it is difficult to measure with the current technology

Source: Reconstruction of landscape part during Sinan-wooi Offshore Wind Power Environmental Impact Assessment (2022.03. private report)

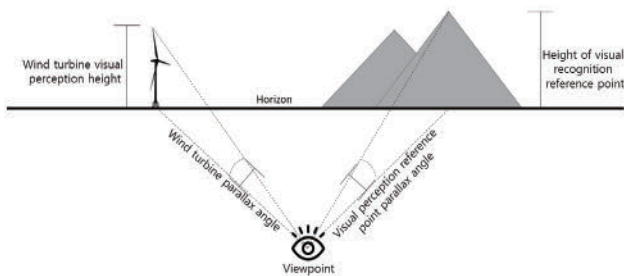


Figure 4. Visual perception height measurement

Table 5. Definition of the terms

Variable	Definition of the term
Observer (viewpoint) height	Observer's height: Height at which the observer takes the image (photo), typically the height from the ground to the observer's eyes
	Altitude above sea level: Height value of the current location of the terrain relative to sea level

다음에 계속(Continue on next)

Variable	Definition of the term
Actual height of the object to be observed	Height of structure or building above land: Height value of a structure or building where the observer is located based on the altitude above sea level
	Total view height: Height of the observer + the altitude above sea level + the height of the structure (building) at the land branch
	Wind turbine height: Height to the hub based on sea level + radius of the blade (based on maximum height value)
	Distance to wind turbine: Straight distance from the observer's position (viewpoint) to the wind turbine
Coefficients for calculating height values	Refraction coefficient of light according to Earth's atmospheric density: Coefficient to consider the refraction value of light according to the change in the atmospheric density of the Earth
	Earth radius: Calculated radius considering that the Earth is an ellipsoid sphere
Result value	Parallax angle: The angle at which the human eye perceives the height of an object in a parallax triangle when the height and distance of the object are known
	Distance to the horizon: Distance to the horizon when viewed from an observation point using the Earth's radius and the Earth's atmospheric curvature coefficient
	Distance to the visual perception reference point: Straight line distance to the object that serves as a visual recognition standard
	Non-visible height of a wind turbine from the viewpoint: The value of the wind power generator's calculated height when it is located beyond the horizon from the view point
Visible height of a wind turbine from the viewpoint	The height value that is visible when located inside the horizon among the calculated height values of the wind power generator from the viewpoint
	Height of the visual perception reference point: The height value perceived by the actual human eye of a terrain or structure where the height value of a wind power generator can be compared at the viewing point
	Visual perception height of a wind turbine: The height value perceived by the actual person based on the visible height of the wind turbine when the wind turbine is viewed from the viewpoint

Source: Reconstruction of landscape part during Sinan-wooi Offshore Wind Power Environmental Impact Assessment (2022.03. private report)

의 눈으로 인지되어지는 높이값(시각인지 높이값)은 0.75도인 것으로 나타났다.

이때, 인근에 기준이 될 만한 섬의 높이가 60m 섬까지의 거리가 480m, 조망 높이가 21.6m(상기 조망지점의 조망 높이와 동일)이며, 수평선까지의 거리가 32.61km라고 할 경우 기준이 되는 섬의 시각인지 높이는 7.15도임을 알 수 있다.

3. 풍력발전기별 높이값 계산

1) 연구대상지 개요

연구대상지인 전북 부안군에 위치한 해상풍력 실증단지(현재 운영 중인 발전단지)로(Table 6) 이에 대한 위치정보는 한국해상풍력(주)에서 제공하는 자료 중 「서남해 해상풍력 실증단지 해양이용협의」 자료의 풍력발전기 좌표를 수치지형도 좌표에 맞게 변환하여 위치를 확인하였다(Table 7). 또한 풍력발전기 구조물의 높이는 산업통산자원부의 실증단지 개발사업 사업계획 공람 자료를 참고하였으며, 각 기체의 높이값은 해수면으로부터 130m(TC- II), 157m(TC-S)로 확인하였다(Figure 5).

2) 주요 조망점 선정

이 연구는 3개의 주요 관측지점에서 수행되었으며(Figure 6), 이들은 모두 해안에서 섬과 바다를 최적으로 조망할 수 있는 위치

Table 6. Wind turbine specifications

Category	Doosan Heavy Industries & Construction (TC-II)	Doosan Heavy Industries & Construction (TC-S)
Rated output (MW)	3	3
Number of installation stand (units)	7	13
Generator type	PMG	PMSG
Turbine class	II A	II A (Extreme), III A (Fatigue)
Hub height (m)	80	90
Rotor diameter (m)	100	134
Rotor Rated Speed (RPM)	15.4	10.664
Cut-in speed (m/s)	3	3
Cut-out speed (m/s)	25	20
Rated speed (m/s)	12.5	10
Weight (including tower, ton)	370	402
Extreme wind speed (m/s)	53.125	53.125

Source: <https://www.motie.go.kr/attach/viewer/c26df36c4f964b1523b31be51e734922/9d30cf8b5224f7516a4d7685d6aa656b/778bdfb5db9ced7c8fd52756c00bf0cd>

Table 7. Wind turbine location

No.	WGS84 UTM 52N		Turbine model
	East (m)	North (m)	
wt-001	258800.83	3930242.29	TC-S
wt-002	258225.36	3929686.56	TC-II
wt-003	257649.88	3929130.84	TC-S
wt-004	257074.41	3928575.11	TC-S
wt-005	256498.94	3928019.38	TC-S
wt-006	258122.39	3930666.23	TC-S
wt-007	257546.92	3930110.50	TC-II
wt-008	256971.45	3929554.77	TC-II
wt-009	256395.97	3928999.05	TC-II
wt-010	255820.50	3928443.32	TC-S
wt-011	257443.95	3931090.16	TC-S
wt-012	256868.48	3930534.44	TC-II
wt-013	256293.01	3929978.71	TC-II
wt-014	255717.54	3929422.98	TC-II
wt-015	255142.06	3928867.26	TC-S
wt-016	256765.51	3931514.10	TC-S
wt-017	256187.60	3930956.01	TC-S
wt-018	255614.57	3930402.64	TC-S
wt-019	255039.10	3929846.92	TC-S
wt-020	254463.63	3929291.19	TC-S

Source: <http://www.kowp.co.kr/data/file.asp>

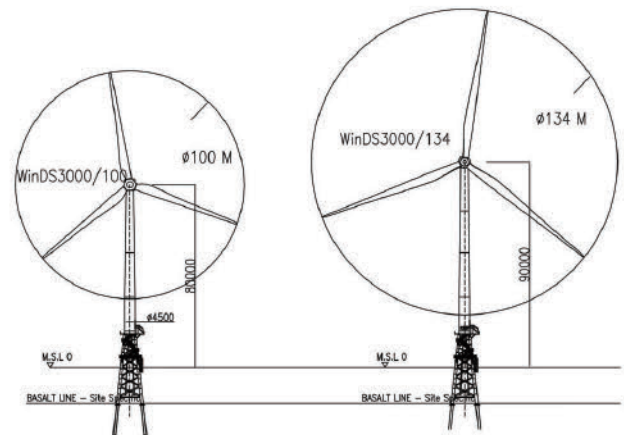


Figure 5. Wind turbine shape

Source: <https://www.motie.go.kr/attach/viewer/c26df36c4f964b1523b31be51e734922/9d30cf8b5224f7516a4d7685d6aa656b/778bdfb5db9ced7c8fd52756c00bf0cd>

를 선택하였다(Table 8). 이러한 선택은 관측지점이 바다를 향하면서도 연구대상지를 포함하여, 풍력발전기를 포함한 전체 경관을 한눈에 볼 수 있도록 하기 위함이다.

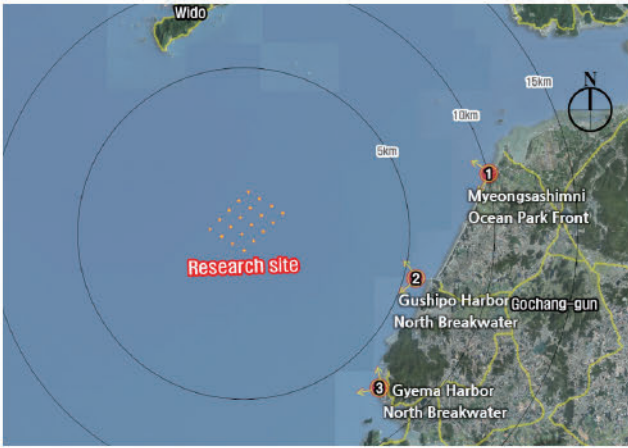


Figure 6. View point location map

3) 조망점별 시각인지 높이값 산출

각 조망점에서 시각인지 높이값을 산출한 결과 기준이 되는 위도 망금봉(242m)은 조망점 1번과 3번에서 조망하였을 때, 수평선까지의 거리보다 원거리에 위치하여 비가시되는 높이가 발생하였으며 기준점이 되는 망금봉의 높이가 실제 높이값보다 낮아지는 것으로 분석되었다. 또한 각 조망점에서 망금봉을 조망하였을 때 시각인지 높이는 0.53도에서 0.69도 사이로 나타났으며 (Table 9) 연구대상지의 풍력발전기는 기준점인 망금봉과 차이에서 양수와 음수를 다양하게 나타내고 있음을 알 수 있다. 이때 양수를 나타내는 풍력발전기의 경우 기준점보다 높이가 높은 것으로 해석할 수 있으며, 음수를 나타내는 것은 기준점보다 낮은 것으로 해석할 수 있다. 본 연구 결과에서는 각 조망점에서 풍력발전기가 유사한 높이어거나 약 0.1도 내외로 높거나 낮은 것으로

분석되었으며(Table 10, Table 11, Table 12) 이를 기반으로 돌출되는 경관을 판단하기 위하여 임승빈·신지훈(1995)의 연구 내용 중 자연경관에서의 허용한계의 분석 방법을 토대로 각 조망점별로 돌출 여부를 판단하였다.

돌출 여부 판단을 위하여 각 풍력발전기의 블레이드가 최저로 낮아지는 점에 대한 시각인지 높이값을 함께 도출하였으며, 기준이 되는 망금봉의 시각인지 높이값에 75%, 100%, 125% 범위를 설정하였다. 각각의 풍력발전기별 시각인지 높이값이 최고점과 최저점의 100%를 넘어서는 경우 돌출로 판단하였으며, 최고점만 100%를 넘어서는 경우 부분 돌출 그리고 최고점과 최저점이 100% 이내일 경우 비돌출로 작성하였다.

작성 결과 시각인지 높이를 기준으로 각 풍력발전기가 주변 도서를 기준으로 돌출 여부를 판단할 수 있으나 풍력발전기의 블레이드가 지속적으로 회전하는 점을 고려하였을 경우 비돌출과 부분 돌출되는 풍력발전기를 제외한 몇 개의 풍력발전기에서만 돌출이 되는 것으로 나타났으나 이는 조망점의 위치에 따라 가변적임을 알 수 있다.

본 결과에서 주목할 만한 점은 조망 높이 및 거리가 변화함에 따라 풍력발전기의 비가시 높이 등이 수평선의 가시거리에 의하여 결정되며, 동일한 높이를 가지는 풍력발전기의 경우 설치되는 위치에 따라 다양하게 높이가 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 풍력발전기의 간격을 조망점으로부터 얼마나 멀리 이격하여 설치하는지에 대한 영향을 나타낸다고 볼 수 있으며, 주변 환경과 비교하였을 때 정량적으로 얼마만큼의 돌출 경관을 이루는지를 확인할 수 있다(Table 13).

특히 일반적인 물리학적 원리에 따르면, 물체가 관찰자로부터

Table 8. Viewpoint selection table

Num.	Viewpoint name	Landscape components	TM coordinates (m)	Separation distance (m)	Visibility
vp001	Myeongsashimni Ocean Park Front	Sea and islands	X: 152,023 Y: 322,645 Z: 6.6	11,869 (WT-001Criteria)	○
vp002	Gushipo Harbor North Breakwater	Sea and islands	X: 147,664 Y: 317,020 Z: 10.1	8,568 (WT-001Criteria)	○
vp003	Gyema Harbor North Breakwater	Sea and islands	X: 145,817 Y: 310,924 Z: 7.8	11,275 (WT-005Criteria)	○

Table 9. Setting a reference point

View point	Reference point name	Actual height value (m)	Distance to reference point (m)	Viewpoint height (m)	Distance to horizon (km)	Non-visible height from reference point (m)	Visible height from reference point (m)	Visual perception height (degrees)
vp001	Wido Manggeumbong	242	19,912	6.60	18.03	15.9	226	0.65
vp002		242	20,118	10.10	22.30	-	242	0.69
vp003		242	24,168	7.80	19.60	17.5	224	0.53

Table 10. vp001 : Myeongsashimni Ocean Park front

Number	Wind turbine height (m)	Distance to wind turbine (m)	Viewpoint height (m)	Distance to horizon (km)	Wind turbine invisible height (m)	Wind turbine visible height (m)	Visual perception height (degrees)	Difference from reference point (degrees)	Visible or not
wt-001	157	11,869	6.60	18.03	-	157.0	0.76	(+)0.11	Visible
wt-002	130	12,505	6.60	18.03	-	130.0	0.60	(-)0.05	Visible
wt-003	157	13,159	6.60	18.03	-	157.0	0.68	(+)0.03	Visible
wt-004	157	13,828	6.60	18.03	-	157.0	0.65	(+)0.00	Visible
wt-005	157	14,513	6.60	18.03	-	157.0	0.62	(-)0.03	Visible
wt-006	157	12,511	6.60	18.03	-	157.0	0.72	(+)0.07	Visible
wt-007	130	13,130	6.60	18.03	-	130.0	0.57	(-)0.08	Visible
wt-008	130	13,766	6.60	18.03	-	130.0	0.54	(-)0.11	Visible
wt-009	130	14,418	6.60	18.03	-	130.0	0.52	(-)0.13	Visible
wt-010	157	15,084	6.60	18.03	-	157.0	0.60	(-)0.05	Visible
wt-011	157	13,173	6.60	18.03	-	157.0	0.68	(+)0.03	Visible
wt-012	130	13,772	6.60	18.03	-	130.0	0.54	(-)0.11	Visible
wt-013	130	14,390	6.60	18.03	-	130.0	0.52	(-)0.13	Visible
wt-014	130	15,025	6.60	18.03	-	130.0	0.50	(-)0.15	Visible
wt-015	157	15,677	6.60	18.03	-	157.0	0.57	(-)0.08	Visible
wt-016	157	13,850	6.60	18.03	-	157.0	0.65	(-)0.00	Visible
wt-017	157	14,434	6.60	18.03	-	157.0	0.62	(-)0.03	Visible
wt-018	157	15,032	6.60	18.03	-	157.0	0.60	(-)0.05	Visible
wt-019	157	15,651	6.60	18.03	-	157.0	0.57	(-)0.08	Visible
wt-020	157	16,286	6.60	18.03	-	157.0	0.55	(-)0.10	Visible

Table 11. vp002 : Gushipo Harbor North Breakwater

Number	Wind turbine height (m)	Distance to wind turbine (m)	Viewpoint height (m)	Distance to horizon (km)	Wind turbine invisible height (m)	Wind turbine visible height (m)	Visual perception height (degrees)	Difference from reference point (degrees)	Visible or not
wt-001	157	8,568	10.10	22.30	-	157.0	1.05	(+)0.36	Visible
wt-002	130	8,809	10.10	22.30	-	130.0	0.85	(+)0.16	Visible
wt-003	157	9,115	10.10	22.30	-	157.0	0.99	(+)0.30	Visible
wt-004	157	9,479	10.10	22.30	-	157.0	0.95	(+)0.26	Visible
wt-005	157	9,898	10.10	22.30	-	157.0	0.91	(+)0.22	Visible
wt-006	157	9,366	10.10	22.30	-	157.0	0.96	(+)0.27	Visible
wt-007	130	9,606	10.10	22.30	-	130.0	0.78	(+)0.09	Visible
wt-008	130	9,904	10.10	22.30	-	130.0	0.75	(+)0.06	Visible
wt-009	130	10,254	10.10	22.30	-	130.0	0.73	(+)0.04	Visible
wt-010	157	10,654	10.10	22.30	-	157.0	0.84	(+)0.16	Visible
wt-011	157	10,167	10.10	22.30	-	157.0	0.88	(+)0.20	Visible
wt-012	130	10,401	10.10	22.30	-	130.0	0.72	(+)0.03	Visible
wt-013	130	10,691	10.10	22.30	-	130.0	0.70	(+)0.01	Visible
wt-014	130	11,031	10.10	22.30	-	130.0	0.68	(-)0.01	Visible
wt-015	157	11,420	10.10	22.30	-	157.0	0.79	(+)0.10	Visible
wt-016	157	10,967	10.10	22.30	-	157.0	0.82	(+)0.13	Visible
wt-017	157	11,200	10.10	22.30	-	157.0	0.80	(+)0.11	Visible
wt-018	157	11,483	10.10	22.30	-	157.0	0.78	(+)0.09	Visible
wt-019	157	11,813	10.10	22.30	-	157.0	0.76	(+)0.07	Visible
wt-020	157	12,187	10.10	22.30	-	157.0	0.74	(+)0.05	Visible

Table 12. vp003 : Gyema Harbor North Breakwater

Number	Wind turbine height (m)	Distance to wind turbine (m)	Viewpoint height (m)	Distance to horizon (km)	Wind turbine invisible height (m)	Wind turbine visible height (m)	Visual perception height (degrees)	Difference from reference point (degrees)	Visible or not
wt-001	157	11,770	7.80	19.60	-	157.0	0.76	(+)0.23	Visible
wt-002	130	11,563	7.80	19.60	-	130.0	0.64	(+)0.11	Visible
wt-003	157	11,411	7.80	19.60	-	157.0	0.79	(+)0.26	Visible
wt-004	157	11,314	7.80	19.60	-	157.0	0.80	(+)0.26	Visible
wt-005	157	11,275	7.80	19.60	-	157.0	0.80	(+)0.27	Visible
wt-006	157	12,462	7.80	19.60	-	157.0	0.72	(+)0.19	Visible
wt-007	130	12,283	7.80	19.60	-	130.0	0.61	(+)0.07	Visible
wt-008	130	12,153	7.80	19.60	-	130.0	0.61	(+)0.08	Visible
wt-009	130	12,073	7.80	19.60	-	130.0	0.62	(+)0.09	Visible
wt-010	157	12,047	7.80	19.60	-	157.0	0.75	(+)0.22	Visible
wt-011	157	13,170	7.80	19.60	-	157.0	0.68	(+)0.15	Visible
wt-012	130	13,010	7.80	19.60	-	130.0	0.57	(+)0.04	Visible
wt-013	130	12,899	7.80	19.60	-	130.0	0.58	(+)0.05	Visible
wt-014	130	12,837	7.80	19.60	-	130.0	0.58	(+)0.05	Visible
wt-015	157	12,827	7.80	19.60	-	157.0	0.70	(+)0.17	Visible
wt-016	157	13,886	7.80	19.60	-	157.0	0.65	(+)0.12	Visible
wt-017	157	13,747	7.80	19.60	-	157.0	0.65	(+)0.12	Visible
wt-018	157	13,655	7.80	19.60	-	157.0	0.66	(+)0.13	Visible
wt-019	157	13,606	7.80	19.60	-	157.0	0.66	(+)0.13	Visible
wt-020	157	13,606	7.80	19.60	-	157.0	0.66	(+)0.13	Visible

떨어질수록 그 물체의 시각적 크기는 줄어들게 마련이다. 이 원리는 풍력발전기에도 동일하게 적용되어, 거리가 멀어질수록 풍력발전기는 시각적으로 덜 도드라져 보인다. 이러한 현상을 정량적으로 분석하기 위하여, 본 연구에서는 조망점별 Z-Score 분석을 수행하였다(〈Table 14〉 참조).

조망점 1에서는 Z-Score가 대부분 0 주변에 분포하고 있어, 대부분의 데이터 포인트들이 평균 근처에 위치해 있다는 것을 시사한다. 반면 조망점 2에서는 Z-Score가 전반적으로 높게 나타나, 이는 조망점과 풍력발전기 사이의 상대적으로 가까운 거리 때문으로 해석된다. 마지막으로 조망점 3에서는 Z-Score가 조망점 1과 유사한 분포를 보여, 풍력발전기가 원거리에 위치하고 있음을 나타낸다.

이러한 결과는 조망점 1과 조망점 3에서 풍력발전기가 조망점 2에 비해 원거리에 위치하며, Z-Score가 대체로 0에 분포하고 있다는 것을 의미한다. 이는 거리가 멀어질수록 풍력발전기의 시각적 영향이 감소한다는 것을 의미하며 풍력발전기의 높이 차이에도 불구하고, 원거리에서 해상부에 설치된 풍력발전기를 조망했을 때의 시각적 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 이는 설치된 풍력발전기와 주변 환경을 비교했을 때, 풍력발전기의 높이를 변경하는 것이 시각적 영향을 크게 변화시키지 않는다는 것을 시사한다.

4) 높이값의 시뮬레이션과 비교 분석

상기 분석된 각 조망지점에서 풍력발전기의 높이를 검증하기 위하여 실제 현장에서 촬영한 사진에서 취득한 풍력발전기의 높이값과 비교하여 분석하였다. 그러나 현재 운영 중인 풍력발전기의 사진상의 높이값은 사진 촬영 당시의 기상 상황 및 해상도 등의 문제를 가지고 있으며, 이러한 점을 고려하여 각 조망지점에서 풍력발전기까지의 거리가 최단 거리와 최장 거리인 2개 지점을 비교 분석하였다. 그리고 사진과 위에서 분석된 결과 값의 단위를 보정하고자 사진의 사이즈를 10배 축소하여 mm 단위로 보정을 하였다.

각 조망점에서 산출된 높이값과 현장에서 취득한 사진을 비교하였을 때 조망지점에서 원거리와 근거리에서 조망된 풍력발전기의 높이값은 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다. 그러나 일부 결과(vp001의 wt-014 및 vp002의 wt-014)의 경우 이미지의 해상도 문제 및 현장 촬영 당시 일기 조건(해무 및 미세먼지 등)의 영향으로 인하여 사진상 풍력발전기 높이값을 근접하게 측정할 수 없었으나, 이러한 몇 개의 풍력발전기를 제외한 나머지는 대체적으로 산출된 결과 값과 유사한 결과 값을 나타내는 것으로 분석되었다(Table 15).

Table 13. Determination of protrusion at each point

Number	Wind turbine max. height (m)	Wind turbine min. height (m)	vp001			vp002			vp003					
			Manggeum Bong visual perception height (degrees)	75%	100%	125%	Manggeum Bong visual perception height (degrees)	75%	100%	125%	Manggeum Bong visual perception height (degrees)	75%	100%	125%
			0.49	0.65	0.81	0.52	0.69	0.86	0.40	0.53	0.66			
			Visual perception height at wind turbine's maximum height (degrees)	Visual perception height at wind turbine's minimum height (degrees)	Protrusion status	Visual perception height at wind turbine's maximum height (degrees)	Visual perception height at wind turbine's minimum height (degrees)	Protrusion status	Visual perception height at wind turbine's maximum height (degrees)	Visual perception height at wind turbine's minimum height (degrees)	Protrusion status			
wt-001	157	124	0.76	0.60	△	1.05	0.83	○	0.76	0.60	○			
wt-002	130	105	0.60	0.48	×	0.85	0.68	△	0.64	0.52	△			
wt-003	157	124	0.68	0.54	△	0.99	0.78	○	0.79	0.62	○			
wt-004	157	124	0.65	0.51	×	0.95	0.75	○	0.80	0.63	○			
wt-005	157	124	0.62	0.49	×	0.91	0.71	○	0.80	0.63	○			
wt-006	157	124	0.72	0.57	△	0.96	0.76	○	0.72	0.57	△			
wt-007	130	105	0.57	0.46	×	0.78	0.63	△	0.61	0.49	△			
wt-008	130	105	0.54	0.44	×	0.75	0.61	△	0.61	0.50	△			
wt-009	130	105	0.52	0.42	×	0.73	0.59	△	0.62	0.50	△			
wt-010	157	124	0.60	0.47	×	0.84	0.66	△	0.75	0.59	○			
wt-011	157	124	0.68	0.54	△	0.88	0.70	△	0.68	0.54	○			
wt-012	130	105	0.54	0.44	×	0.72	0.58	△	0.57	0.46	△			
wt-013	130	105	0.52	0.42	×	0.70	0.56	△	0.58	0.47	△			
wt-014	130	105	0.50	0.40	×	0.68	0.55	×	0.58	0.47	△			
wt-015	157	124	0.57	0.45	×	0.79	0.62	△	0.70	0.55	○			
wt-016	157	124	0.65	0.51	×	0.82	0.65	△	0.65	0.51	△			
wt-017	157	124	0.62	0.49	×	0.80	0.63	△	0.65	0.51	△			
wt-018	157	124	0.60	0.47	×	0.78	0.62	△	0.66	0.52	△			
wt-019	157	124	0.57	0.45	×	0.76	0.60	△	0.66	0.52	△			
wt-020	157	124	0.55	0.43	×	0.74	0.58	△	0.66	0.52	△			

Reference: Protrusion (○), Partial Protrusion (△), Non-Protrusion (×)

IV. 요약 및 결론

본 연구는 국내에서 증가하고 있는 해상풍력 발전사업에 대한 경관평가 방법을 제시하고자 하였다. 풍력발전기가 설치된 지역의 주요 관찰지점에서, 발전기와 주변 자연환경이 어떻게 조화를 이루는지 정량적으로 측정하는 것이 본 연구의 목표이다. 이를 위해, 본 연구에서는 선행연구 및 이론 및 기술적 근거를 통하여 사람이 공간에서 물체를 인지할 때 여러 가지 정보들에 의하여 뇌가 인지하는 것을 알 수 있었으며, 형태가 다른 객체의 경우 형태는 동일해 보일지 모르지만, 실측 거리나 인지된 거리 등에 의하여 크기가 변화됨을 알 수 있었다. 또한 이러한 객체를 인지할

때 실제 눈으로 환경을 직접 보거나 촬영된 화면을 볼 때 객체까지의 거리, 높이, 초점거리 등에 의하여 사물을 인지하는 행동이 영향을 받으며 이러한 인지를 보다 정확하게 하기 위해서는 주변 환경과 비교하여 수치적인 특성을 함께 볼 때 보다 정확하게 사물의 크기를 인지할 수 있음을 확인하였다.

그리고 기존의 자연경관평가와 해상풍력발전지 따른 경관 평가에서 평가의 방법이 정량적 지표를 산출하도록 하고 있으나 이에 따른 방법론이 현재 상황에서는 부재하고 있음을 확인하였으며, 해외의 경우 민감도 분석을 수행하여 해상풍력의 경관적 영향을 평가하는 것으로 분석되었다.

따라서 현재 해상풍력발전과 관련하여 사람의 눈으로 인지되는

Table 14. Z-score comparison for each point

Number	vp001			vp002			vp003		
	Average		0.603	Average		0.824	Average		0.6745
	Standard deviation		0.070195	Standard deviation		0.103232	Standard deviation		0.073876
	Visual perception height	Deviation	Z-score	Visual perception height	Deviation	Z-score	Visual perception height	Deviation	Z-score
wt-001	0.76	0.157	2.236620	1.05	0.447	6.3679553	0.76	0.157	2.236620
wt-002	0.60	-0.003	-0.042738	0.85	0.247	3.5187583	0.64	0.037	0.527101
wt-003	0.68	0.077	1.096941	0.99	0.387	5.5131962	0.79	0.187	2.663999
wt-004	0.65	0.047	0.669561	0.95	0.347	4.9433568	0.80	0.197	2.806459
wt-005	0.62	0.017	0.242182	0.91	0.307	4.3735174	0.80	0.197	2.806459
wt-006	0.72	0.117	1.666780	0.96	0.357	5.0858166	0.72	0.117	1.666780
wt-007	0.57	-0.033	-0.470118	0.78	0.177	2.5215393	0.61	0.007	0.099722
wt-008	0.54	-0.063	-0.897497	0.75	0.147	2.0941598	0.61	0.007	0.099722
wt-009	0.52	-0.083	-1.182417	0.73	0.127	1.8092401	0.62	0.017	0.242182
wt-010	0.60	-0.003	-0.042738	0.84	0.237	3.3762984	0.75	0.147	2.094160
wt-011	0.68	0.077	1.096941	0.88	0.277	3.9461378	0.68	0.077	1.096941
wt-012	0.54	-0.063	-0.897497	0.72	0.117	1.6667802	0.57	-0.033	-0.470118
wt-013	0.52	-0.083	-1.182417	0.70	0.097	1.3818605	0.58	-0.023	-0.327658
wt-014	0.50	-0.103	-1.467336	0.68	0.077	1.0969408	0.58	-0.023	-0.327658
wt-015	0.57	-0.033	-0.470118	0.79	0.187	2.6639992	0.70	0.097	1.381861
wt-016	0.65	0.047	0.669561	0.82	0.217	3.0913787	0.65	0.047	0.669561
wt-017	0.62	0.017	0.242182	0.80	0.197	2.8064590	0.65	0.047	0.669561
wt-018	0.60	-0.003	-0.042738	0.78	0.177	2.5215393	0.66	0.057	0.812021
wt-019	0.57	-0.033	-0.470118	0.76	0.157	2.2366196	0.66	0.057	0.812021
wt-020	0.55	-0.053	-0.755037	0.74	0.137	1.9516999	0.66	0.057	0.812021

Table 15. Comparison between photo and result values

View point	Wind turbine number	Calculated wind turbine height value (mm)	Height value of wind turbine in photo (mm)	Difference value (mm)
vp001	wt-001	3.31	3.20	0.11
	wt-014	2.16	2.60	-0.44
vp002	wt-001	4.58	4.50	0.08
	wt-014	2.95	2.60	0.35
vp003	wt-005	3.48	3.20	0.28
	wt-012	2.50	2.60	-0.10

시각적 영향을 수치화하는 이론적 방법론을 구상하였으며, 이를 실제 풍력발전기에 적용하고자 지구의 곡률반경과 대기 굴절을 고려한 피타고라스의 정리와 시차삼각법을 사용하여, 사람의 눈으로 볼 때 풍력발전기의 높이를 측정하였다. 시각적으로 인지되는 높이값을 측정된 뒤 이를 통하여 각각의 풍력발전기의 돌출 여부에 대한 검증은 실시하였으며, 각각의 결과 값의 Z-Score 분석을 통하여 원거리에서 풍력발전 사업을 조망하였을 경우 풍력발

전기의 경관에 대한 시각적 영향이 감소하고 있음을 증명하였다.

그러나 사람이 실제로 눈으로 보는 행위는 각종 변수를 포함하고 있으나 본 연구에서는 이러한 변수에 대한 고려가 이루어지지 않았으며, 특히 실제 사진과 비교하여 결과 값과 차이를 분석하는 과정에서 사진상의 오류에 대한 변수가 고려되지 않았다. 특히 본 연구 과정에서 사용된 풍력발전기의 위치 및 크기에 대한 데이터는 사업이 진행 중에 작성된 데이터로서 최종적으로 사업이 완료된 현시점의 데이터를 확보하지 못하여 보다 정확한 분석이 이루어지지 않는 한계를 가지고 있다.

또한 본 연구를 통하여 해상에 설치하는 풍력발전기가 시각적으로 인지되는 범위에 대한 연구를 수행하고자 하였으나 현재 선정된 조망점의 연장선상의 조망점 선정 시 공간적 범위가 선형적으로 나타날 수 있는 점을 발견하였고 이를 면적 범위로 확대하기 위해서는 별도의 데이터를 구성하여 영향이 미치는 범주를 분석하여야 한다는 결론을 도출하였다.

본 연구는 이러한 연구의 한계에도 불구하고 정성적으로 평가되는 경관을 정량적인 수치로 나타낸다는 점에서 기존 경관 관련 연구들보다 유효한 점을 가지고 있다 할 수 있다. 특히 경관의 특

성 중 가장 중요한 사람이 보는 경관에 대하여 정량화된 수치를 나타낸다는 점에서 연구의 유효함을 가지고 있다. 그러나 본 연구에서 제시하는 수치는 여러 가지 조건(지구반경, 지구대기곡률에 따른 빛의 굴절계수, 인간의 뇌에 의하여 결정되는 눈으로 인식되는 높이값, 시뮬레이션 또는 사진 등에서 발생하는 일반적 오류 등)에 의하여 변동될 수 있고, 특히 인간의 눈이 인식하는 높이값은 뇌의 작용에 의하여 결정되기 때문에 이를 절대적인 값으로 이해하기보다는 개략적인 높이값의 차이를 통한 경관영향 평가에 보조적 역할로 사용되어야 한다.

특히 본 연구를 바탕으로 각종 개발사업 등을 실행할 때 선행되는 경관법에서의 경관심의 등 각종 심의에 대하여 보다 정량적인 수치를 바탕으로 도시공간에서의 경관 영향을 분석하고 비교할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 본 연구와 관련하여 육상부에 대하여 동일한 방법론을 가지고 평가를 수행하였을 때 결과를 도출하고 이에 따른 올바른 경관평가 방법을 제시할 수 있을 것으로 보이며, 본 연구의 결과를 바탕으로 풍력발전기 설치에 대한 사회적 수용성을 높이고, 풍력발전기 설치와 관련된 환경에서의 경관적 문제를 해결하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

인용문헌 References

- 김진오·민병욱·우경숙·김진표, 2023. “해상풍력발전단지 경관의 질 평가 기법에 관한 연구 -해의가이드라인 사례를 중심으로-”, 『환경영향평가』, 32(4): 230-241.
- Kim, J.O., Min, B.W., Woo, K.S., and Kim, J.P., 2023. “A Study on Landscape Quality Assessment Techniques for Offshore Wind Farms -Focusing on Overseas Guidelines Cases-”, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 32(4): 230-241.
- 박병규, 2013. “조망경관 평가를 위한 경관 시뮬레이션의 신뢰도 제고 연구 -시뮬레이션 화각 표준화를 중심으로-”, 『한국생태환경건축학회논문집』, 13(1): 109-123.
- Park, B.G., 2013. “The Study for Securing of Reliability of Landscape View Evaluation by Simulation Work -The Simulation Angle of View to the Standardization of-”, *KIEAE Journal*, 13(1): 109-123.
- 임갑대, 2007. “디지털 화면상에 표현되는 사물의 크기에 대한 시각인지”, 『디지털디자인학연구』, 7(1): 243-252.
- Lim, K.D., 2007. “Visual Perception of Size (Scale) Information in Digital Presentations”, *Journal of Digital Design*, 7(1): 243-252.
- 임승빈, 1988. “경관분석 및 평가방법에 관한 연구 -현상학적 접근-”, 『한국조경학회지』, 16(1): 43-51.
- Lim, S.B., 1988. “A Study on the Method of Landscape Analysis and Evaluation -A Phenomenological Approach”, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 16(1): 43-51.
- 임승빈·신지훈, 1995. “경관 영향평가를 위한 물리적 지표설정에 관한 연구”, 『대한건축학회논문집』, 11(10): 157-165.
- Lim, S.B. and Shin, J.H., 1995. “A Study on the Physical Evaluation Indicators for the Landscape Impact Assessment”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 11(10): 157-165.
- 한준수·이미영·백성욱, 2014. “가상카메라를 이용한 사진 촬영 정보 측정 방법에 대한 연구”, 『한국차세대컴퓨팅학회논문지』, 10(2): 75-83.
- Han, J.S., Lee, M.Y., and Baik, S.W., 2014. “A Study for Calibration Method about Photographing Information by Using a Virtual Camera”, *The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing*, 10(2): 75-83.
- Cutting, J.E. and Vishton, P.M., 1995. “Chapter 3 - Perceiving Layout and Knowing Distances: The Integration, Relative Potency, and Contextual Use of Different Information about Depth”, in *Perception of Space and Motion Handbook of Perception and Cognition*, edited by William Epstein, Sheena Rogers, Academic Press, Perception of Space and Motion, 69-117.
- Loomis, J.M. and Philbeck, J.W., 1999. “Is the Anisotropy of Perceived 3-D Shape Invariant across Scale?”, *Perception & Psychophysics*, 61: 397-402.
- 국가법령정보센터, 2022.11.15. “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조 2호”, <https://www.law.go.kr/법령/신에너지및재생에너지개발·이용·보급촉진법>
- Korean Law Information Center, 2022, Nov 15. “Article 2, No. 2 of the Act on the Promotion of the Development, Use and Distribution of New and Renewable Energy”, <https://www.law.go.kr/법령/신에너지및재생에너지개발·이용·보급촉진법>
- 국가법령정보센터, 2023.04.10. “개발사업 등에 대한 자연경관심의 지침”, <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000221872>
- Korean Law Information Center, 2023, Apr 10. “Guidelines for Natural Landscape Deliberation on Development Projects, etc”, <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000221872>
- 산업통상자원부, 2015.06.09. “서남해 해상풍력 실증단지 개발사업 사업시행계획 공람 및 설명회 개최 재공고”, <https://www.motie.go.kr/attach/viewer/c26df36c4f964b1523b31be51e734922/9d30cf8b5224f7516a4d7685d6aa656b/778bdbf5db9ced7c8fd52756c00bf0cd>
- Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015, Jun 09. “Re-announcement of the Public Inspection and Briefing Session of the Southwest Sea Offshore Wind Power Demonstration Complex Development Project Implementation Plan”, <https://www.motie.go.kr/attach/viewer/c26df36c4f964b1523b31be51e734922/9d30cf8b5224f7516a4d7685d6aa656b/778bdbf5db9ced7c8fd52756c00bf0cd>
- 한국천문연구원 천문우주지식정보, 2017.03.31. “연주 시차를 이용한 거리 측정 방법”, <https://astro.kasi.re.kr/learning/pageView/5214>
- Astronomy and Space Knowledge Information of the Korea Astronomy and Space Science Institute, 2017, Mar 31. “How to Measure Distance using Annual Parallax”, <https://astro.kasi.re.kr/learning/pageView/5214>

kasi.re.kr/learning/pageView/5214

13. 한국해상풍력(주), 2015.06.05. “서남해 해상풍력 실증단지 개발 사업 사업설명회 자료_1”, <http://www.kowp.co.kr/data/file.asp?menu=14>
Korea Offshore Wind Power Co., Ltd., 2015. Jun 05. “Business Briefing Material for the Southwest Sea Offshore Wind Power Demonstration Complex Development Project_1”, <http://www.kowp.co.kr/data/file.asp?menu=14>
14. 환경부, 2021.06. “해상풍력발전 환경조사·평가 매뉴얼”, <https://me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do;jsessionid=gn+nMJF+SeTZ+IMNiSi2B7W8.mehome1?fileId=220932&fileSeq=1>
Ministry of Environment, 2021. Jun. “Offshore Wind Power Generation Environmental Survey and Evaluation Manual”, <https://me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do;jsessionid=gn+nMJF+SeTZ+IMNiSi2B7W8.mehome1?fileId=220932&fileSeq=1>

15. 환경영향평가정보지원시스템, 2022.03.03. “신안우이 해상풍력 발전사업 환경영향평가 보완보고서(비공개 보고서)”, <https://www.eiass.go.kr/>
EIASS, 2023, March 3. “Reconstruction of landscape part during Sinan-wooi Offshore Wind Power Environmental Impact Assessment (private report)”, <https://www.eiass.go.kr/>

Date Received	2023-06-08
Reviewed(1 st)	2023-08-21
Date Revised	2023-11-15
Reviewed(2 nd)	2023-11-29
Date Accepted	2023-11-29
Final Received	2023-12-13