

울산 해역 부유식 해상풍력 발전사업의 해양환경영향검토 현황 및 시사점

이효진 · 박근창* · 오현택†

국립수산과학원(연구사) · *국립수산과학원(연구원) · †국립수산과학원(연구관)

The Status and Implications of Marine Environmental Impact Review of Floating Offshore Wind Farm Projects in Ulsan Sea Area

Hyojin LEE · Geunchang PARK* · Hyun taik OH†

National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · *National Institute of Fisheries Science(researcher) ·

†National Institute of Fisheries Science(director)

Abstract

We reviewed preliminary environmental assessment cases of domestic floating offshore wind farm projects. Feasibility of location, status of the marine environmental impact research, and evaluation status of fish, fishery resources, underwater noise, and electromagnetic fields were analyzed and implications were presented. Floating offshore wind farm projects required a feasibility on location due to the conflict between waste discharge area and project site. It is necessary to investigate, evaluate, and predict the impact on the marine environment according to the guidelines. Fish and fishery resources must be investigated using fishing gear used in actual fishing. In the case of underwater noise and electromagnetic fields, there are no domestic standard and research are very limited so establishing standard through scientific research should be a priority.

Key words : Floating offshore wind farm, Marine environmental impact assessment, Fish and marine resources, Underwater noise, Electromagnetic fields

I. 서론

기후변화에 따른 탄소 중립 정책의 일환으로 정부는 2030년까지 재생에너지 비중을 20%까지 늘리겠다는 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 발표하였으며(Oh et al., 2021), 이 중 95% 이상을 태양광과 풍력으로 공급할 계획이다(Shin, 2019). 특히, 재생에너지 중 하나인 해상풍력은 육상풍력에 비해 거주환경 및 소음으로 인한 민원 문제 발생이 상대적으로 적고, 평균풍속 8 m/s 이상의 풍황

자원으로 인해 발전 효율이 높아(Shin, 2019; Park et al., 2021), 대규모 단지 조성이 가능하여 발전 비중 및 수요가 증가하고 있다(Woo and Na, 2013; Pham et al., 2021).

해상풍력은 발전기 하부 구조에 따라 고정식과 부유식으로 나눌 수 있으며(Park et al., 2021), 고정식 해상풍력발전 시스템은 수심 60 m 이하, 부유식 해상풍력은 수심 60~150 m 해역에서 주로 사용하는 것으로 보고되었다(Shin, 2019). 부유식 해상 풍력은 지반에 고정된 앵커와 계류라인을 통해

† Corresponding author : 051-720-2960, ohtek@korea.kr

※ 이 논문은 2023년도 국립수산과학원 연안어장 환경 조사 및 변동연구(R2023014)의 지원으로 수행됨

풍력발전기를 부유식 구조물에 고정하여 전기를 생산하는 방식으로, 육지로부터 원거리에 부유식 구조물을 설치하기 때문에 육상 또는 고정식 해상 풍력에 비해 양질의 풍황 자원을 이용할 수 있고, 소음 및 전자기장 등에 의한 영향이 작은 장점이 있다. 부유식 풍력발전기는 세계 최초(2009년)로 노르웨이 서부 해안에 2.3 MW 용량으로 설치되었으며, 2020년 기준 전 세계 부유식 해상풍력발전기의 누적 설치 용량은 124 MW에 이르는 것으로 보고되었다(Spearman and Strivens, 2020; Pham et al., 2021).

한편, 해상풍력발전 사업은 해양환경 및 해양 생태계, 해양보호생물, 수산자원, 관광·레저 및 해상교통 등에 잠재적인 영향을 줄 수 있으며, 연안 생태계 훼손, 조업 구역 축소에 따른 어업 피해, 사업자와 주민 간의 갈등 등 다양한 사회·환경 문제가 발생할 수 있다(Oh and Yeo, 2019; Oh et al., 2021; Choi et al., 2023). 최근 정부의 해양환경관리 정책에서 대규모 해상풍력 단지 조성이 현안으로 대두됨에 따라(Lee, 2021; Lee and Maeng, 2022), 해양 이용의 적정성과 해양 환경에 미치는 영향을 보다 전문적이고 과학적으로 조사하고 이를 기반으로 영향 예측, 저감방안 및 사후관리에 대한 계획을 수립하고, 전문적 검토를 통해 최종적으로 지속가능한 개발이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

따라서 본 논문에서는 국내 부유식 해상풍력발전 사업의 사전환경성 검토서 사례를 중심으로 부유식 해상풍력발전 사업에 대한 해양환경 영향이 사전에

검토되어 친환경적으로 진행될 수 있도록 방향을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 부유식 해상풍력 발전사업의 해양환경 영향검토

가. 환경성 검토 절차

해상풍력 발전사업은 발전시설 용량에 따라 5만 kW 미만일 경우 해역이용협의, 5~10만 kW는 해역이용영향평가, 10만 kW 이상인 경우 환경영향평가로 나누어지며, 해양수산부에서는 해양 이용에 대한 적절성과 해양환경에 미치는 영향을 사전에 평가받도록 규정하고 있다(Oh et al., 2020). 해상풍력 발전사업의 경우 개발행위 이전에 검토기관이 사전환경성을 검토하고 의견수렴 과정을 거쳐 최종적으로 협의기관에서 협의의견을 통보한다. 본 연구에서는 부유식 해상풍력 개발 행위 이전 해양수산부 장관의 의견을 듣기 위해 제출된 환경영향평가서에 대한 작성 및 검토현황을 파악하였다.

나. 해양환경영향평가 방법

2022년 11월 해양수산부에서는 해상풍력 발전 사업에 대한 협의 및 영향평가를 위해 해상풍력 해역이용영향평가 평가서 작성 가이드라인(해양수산부 발간등록번호 11-1192000-001687-01)을 발간하였으며(MOF, 2022a), 해양환경영향을 평가하기 위한 항목을 <Table 1>에 제시하였다. 가이드라인

<Table 1> Assessment categories for marine environmental impact assessment of project for offshore wind farm

Environ-mental factors	Marine physics & chemistry					Environmental Risk			
	Physics	Water quality	Sediment	Topography·Geology	Air·Weather	Landscape·Light	Acoustic noise	Electromagnetic fields	
Affected factors	Marine ecosystem					Humanities Society			
	Plankton	Benthos	Nekton	Marine mammal	Birds	Space	Fishery	Sociology Economy	Resident health

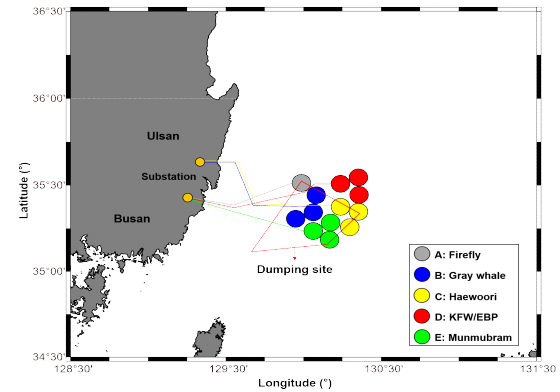
에서는 해상풍력 발전사업을 공사단계-운영단계-해체·교체 단계로 구분하고, 총 17개 평가항목을 환경요인과 피영향 요인으로 구분하였다. 환경영향요인으로는 해양물리, 화학 5개 항목, 환경위해 3항목으로 분류하고, 피영향 요인으로 해양생태계 5개 항목, 인문·사회 5개 항목으로 나누어 현황 파악, 변화 예측 및 영향평가, 저감방안, 사후환경관리 등을 수행하는 것으로 제시하였다.

2. 국내 부유식 해상풍력 사례 검토

국내 부유식 해상풍력 발전사업은 경상북도, 제주도 등에서 추진하고 있으며(MOEF, 2019; Choi et al., 2018), 이 중 수심 100 m 이상, 연평균 풍속이 8 m/s인 울산광역시 관할 동해 해역에서 부유식 해상풍력발전 사업의 실시절계 단계인 환경영향평가 초안 이후 본안 준비 단계에 있다(2023년 9월 기준).

울산 해역에서는 해안으로부터 동쪽으로 60 km 이상 떨어진 배타적경제수역 인근에 반딧불(A), 귀신고래(B), 해울이(C), 한국부유식 이스트블루 파워(D), 문무바람(E) 총 5개의 부유식 해상풍력 발전이 약 1 GW용량의 2~3개 단지 형태로 대규모 발전사업을 계획하였다([Fig. 1], <Table 2>). 전체 5개 사업에 대한 총 발전량은 약 6.2 GW이며, 각 사업별 발전용량은 0.8~1.5 GW, 사업으로 인한 공유수면 점·사용 면적은 154~240 km²이며, 각 사업당 54~100기의 부유식 풍력발전기를 설치할 예정이다.

본 논문에서는 울산 해역에서 추진하고 있는 5개 부유식 해상풍력 발전사업에 대한 환경영향평가서 초안을 통해 해양환경평가 사례를 파악하고, 이에 대한 검토현황과 주요 영향 요인에 해당하는 어류 및 수산자원, 수중 소음·전자기장에 대한 영향평가 현황을 분석하였다.



[Fig. 1] Location of floating offshore wind farm project under environmental impact assessment.

III. 연구 결과

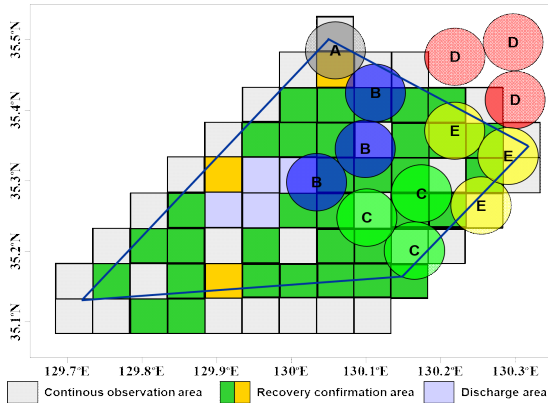
1. 입지의 타당성

부유식 해상풍력 발전사업의 경우, 모든 사업 대상지가 동해정 폐기물 배출해역에 포함되거나 인접한 위치에 계획하였다([Fig. 2], <Table 3>). 하지만 대부분의 환경영향평가서는 폐기물 배출 구역에 관한 입지의 타당성을 평가하지 않으며, 폐기물 배출행위 제한에 대한 언급 또한 없었다.

<Table 2> List of floating offshore wind farm project

ID	Project Name	Capacity	Area
A	Firefly	810 MW(15 MW × 54)	154 km ²
B	Gray whale	1,500 MW(15 MW × 100)	240 km ²
C	Haewoori	1,500 MW(15 MW × 100)	240 km ²
D	KFW/EBP	1,125 MW(15 MW × 75)	240 km ²
E	Munmubaram	1,260 MW(15 MW × 84)	240 km ²

ID: project ID



[Fig. 2] Location of management and monitoring areas and project areas within the dumping site(East Sea-Jeong).

해양수산부의 배출해역 관리 및 모니터링 지침에 따르면 동해정 배출구역에서는 수산물 가공잔재물, 조개껍데기 등의 각질류, 합성로프, 페어구, 플라스틱류, 닝마, 고무제품 등 이물질이 제거한 준설토사가 배출되고 있으며(MOF, 2022b), 폐기물 배출해역은 배출구역, 지속관찰구역, 회복구역으로 분류되어 관리 및 모니터링되고 있다([Fig. 2]). 특히, B 풍력발전 사업의 경우 현재 폐기물이 배출되고 있는 배출구역과 사업구역이 중복되어 부유식 풍력발전 사업자가 공유수면 점용·사용 권한을 득할 때 기존 폐기물 배출 사업자와 공간이용에 관한 이해관계 충돌이 발생할 것으로 예상되며, 공사 중 해양폐기물 채부유 등에 따른 직접영향이 우려되므로 부유식 해상풍력 발전단지 입지에 대한 타당성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

부유식 해상풍력 발전사업과 폐기물 배출행위와의 간섭을 줄이기 위해서는 각 풍력발전기의 배치간격(750~1,000 m)을 500 m로 축소하여 각 사업구역에 대한 공유수면 점·사용 면적(154~240 km², <Table 2>)을 축소할 필요가 있다.

이와 관련하여 산업통상자원부에서는 해상풍력 계획기를 중심으로 반지름 7 km 원 이내 해역을 풍력발전사업 허가를 받을 수 있는 유효지역으로

<Table 3> Floating offshore wind farm projects (ID) in East Sea-Jeong Dumping site area

Area	ID				
	A	B	C	D	E
Discharge	X	○	X	X	X
Recovery confirmation	○	○	○	X	○
Continuous observation	○	○	○	X	○

인정하여, 해상 풍황계측기 최대 유효지역을 기존 628 km²에서 154 km²로 축소하기 위한 제도 개선안을 마련하고 있다(MOTIE, 2023).

또한 현재 폐기물이 배출되고 있는 배출구역을 폐기물 배출해역 관련 법령 지침 및 시행령 개정을 통해 용도 및 면적을 변경할 수 있을 것으로 판단되며, 이후에는 이러한 입지 문제를 사전에 방지할 수 있도록 해상풍력 입지 정보망에 폐기물 배출해역을 추가해야 할 것으로 판단된다.

한편 이러한 입지의 적정성에 대한 문제를 해결하기 위해 덴마크의 경우 정부가 입지에 대한 규제 등을 검토하여 사업자에게 입지 및 개발 가능권한을 주는 원스톱샵(One-stop shop) 제도를 운영하고 있으며(SFOC, 2023), 영국과 독일은 왕립 토지위원회와 연방 해운 수로국에서 부지 선정 후 사업자 입찰을 통해 개발을 진행하는 등 다양한 방식을 활용하고 있으므로(Park and Kim, 2019), 다양한 사례 분석을 통해 국내 실정에 맞는 제도의 도입이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

2. 해양환경영향평가 검토현황

수심 100 m 이상의 동해에서 대규모 단지 형태의 사업을 계획한 5개 울산 해역의 부유식 해상풍력 발전사업에 대한 환경영향평가서 초안 현황을 분석한 결과, 사업대상 구역이 서로 인접함에도 불구하고, 각 사업별 해양물리, 해수, 퇴적물, 생물 등에 대한 조사 시기, 정점 개수, 예측 방법, 조사 결과 및 사후환경조사 계획 등을 포함한 해양

환경영향 조사 방법이 달랐다(<Table 4>).

해양물리 항목의 경우 조사정점이 7 ~ 40개로 매우 다양하였으며 해양환경 및 생태계 현황을 파악할 수 있는 해수, 퇴적물, 생물에 대한 정점 개수와 위치도 상이하고, 조사 또한 특정 기간에 월별 조사 또는 특정 계절에만 수행되어<Table 4>, 계절에 따른 해양환경 변화를 파악할 수 없었다. 이러한 차이는 환경영향평가서 초안 작성을 위한 조사 시작 시기가 해양수산부의 「해상풍력 해역

이용영향평가 평가서 작성 가이드라인」 발간 (2022년 11월) 이전으로 해양환경영향에 대한 조사 및 평가 방법에 대한 상세한 기준에 대한 부재로 인한 결과로 판단된다.

해상풍력 발전사업은 발전 용량에 따라 협의기관이 다르므로, 평가대행자가 각각 다른 부처(해양수산부, 환경부)의 가이드라인에 맞추어 영향평가서를 작성하고 있다. 두 부처의 평가서 작성 가이드라인은 해상풍력 발전사업으로 인한 환경영향을 평가하여

<Table 4> Sampling information for floating offshore wind farm project in environmental impact assessment

ID	Marine physics		Seawater		Sediment		Biota	
	Sites	Date	Sites	Date	Sites	Date	Sites	Date
A	34	2022.02	34	2022.02	34	2022.02	34	2022.02
		2022.03		2022.03		2022.03		2022.03
		2022.05		2022.04		2022.04		2022.04
		2022.06		2022.05		2022.05		2022.05
B	40	2022.02	35	2022.02	35	2022.02	35	2022.02
		2022.03		2022.03		2022.03		2022.03
		2022.04		2022.04		2022.04		2022.04
		2022.05		2022.05		2022.05		2022.05
		2022.08		2022.08		2022.08		2022.08
C	35	2022.10	30	2022.10	30	2022.10	30	2022.10
		2022.11		2022.11		2022.11		2022.11
		2022.12		2022.12		2022.12		2022.12
		2023.02		2023.01		2023.01		2023.01
		2023.03		2023.02		2023.02		2023.02
		2023.03		2023.03		2023.03		2023.03
D	7	2022.07	20	2022.07	35	2022.07	20	2022.07
		2022.08		2023.01		2023.01		2023.01
		2022.09						
		2022.10						
		2022.11						
		2022.12						
E	18	2022.05	40	2022.05	40	2022.05	40	2022.05
		2022.06		2022.08		2022.08		2022.08
		2022.07		2022.11		2022.11		2022.11
		2022.08						
		2022.09						
		2022.10						
2022.11								

피해를 최소화하고 지속가능한 발전에 이바지하고자 하는 공통적인 목적이 있지만, 현황 파악, 예측 및 저감방안 수립 등에 대한 해양환경영향평가 방법에 일부 차이가 있다. 따라서 두 부처의 협의를 통해 하나의 해상풍력발전 가이드라인을 제시하는 등 표준화되고 일관된 영향평가 방법이 필요할 것으로 판단된다.

또한 부유식 해상풍력 발전사업의 경우, 5개의 개발사가 인접하여 동시다발적으로 사업을 진행하고 있으므로 발전단지 구성에 따른 누적 영향을 고려해야 한다(Lee and Maeng, 2022). 하지만 부유식 해상풍력 발전사업자는 노르웨이, 프랑스, 영국, 스페인 등 대부분 외국계 기업이고 조사자료 및 발전사업에 대한 상세한 자료가 각 사업자에 대한 고유정보에 해당하여 서로 공유되지 않아 누적 영향을 평가하기 어려운 실정이다. 이러한 한계점 극복을 위해서는 기존 조사자료에 대해서도 정보를 공개하여 누적영향평가를 수행하고, 부유식 해상풍력 발전단지를 종합적으로 평가할 수 있는 체계적인 조사 방법이 필요할 것으로 판단된다.

동해의 입지 특성상 원거리 조사로 인해 조사 비용이 매우 비싸고, 대규모 조사선을 활용하지 않으면 기상 상황에 따라 조사가 어려워 지속적인 모니터링에 한계가 있으므로 합동 또는 공동 조사체계를 마련하여 조사 결과를 공유할 수 있는 모니터링 플랫폼을 구축하고 해양환경 및 보호생물에 대한 장기모니터링을 수행하여, 조사 결과를 이해당사자와 공유하게 된다면 보다 효율적이고, 직접적인 의견수렴 수단으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 해양환경 영향요인에 대한 검토현황

부유식 해상풍력발전 사업의 해양환경 영향에 대한 검토의견 분석 결과를 <Table 5>에 나타내었다.

해양수산부의 해상풍력 영향평가서 작성을 위한 가이드라인에 포함된 총 17개 평가항목 중 해

양환경의 영향을 간접적으로 받는 대기·기상, 사회·경제, 주민건강 항목을 제외한 총 14개 항목에 대한 검토의견을 분석하였다. 부유식 풍력발전 사업에 대한 공통적 의견은 동해에서는 비조석 성분이 우세하므로, 해수유동모델의 경계조건에 공인된 해류자료를 경계조건으로 입력하거나 관측된 해수위를 직접 경계조건으로 입력하여 해수유동 변화를 예측하고, 해양 물리·화학·생물 평가항목에 대한 주변 해역의 장기적인 수직·수평 자료를 확보하여 예측·평가할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

특히, 울산 해역의 경우 참돌고래, 낫돌고래, 상괭이, 큰돌고래 등 해양보호생물에 포함되는 해양포유류가 출현하는 것으로 보고되어 포유류 선박조사 시 풍력등급, 조사항로 간격, 선박 속도 등 조사 방법에 대한 상세한 정보를 제시하여 포유류 조사의 과학적 객관성을 유지할 필요가 있는 것으로 분석되었다. 또한 포유류의 수영 속력을 고려하지 않는 조사 간격 설정으로 인해 포유류를 중복으로 관찰한 경우가 확인되어, 종 식별에 대한 오류가 발생할 수 있으므로 전문가 자문을 통해 조사 항로를 조정하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

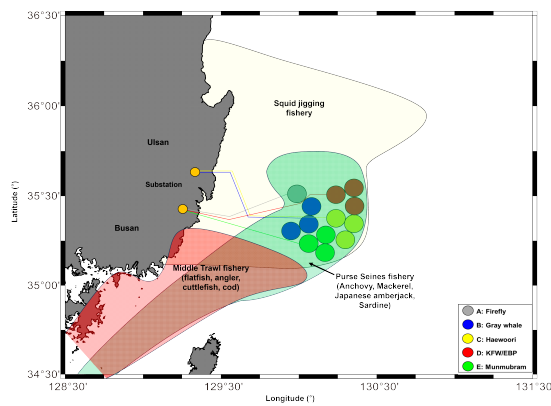
4. 중점 영향 요인에 대한 평가현황

가. 어류 및 수산자원

사업구역 인근 해역에서는 가자미, 오징어, 문어, 멸치, 고등어 등이 회유하고, 채낚기·자망·기선저인망 등 어선들이 대거 밀집하는 등 다양한 조업 활동이 이루어지고 있다([Fig. 3]). 특히, 오징어와 대형선망을 이용한 어업의 경우(Jeong and Rho, 1998), 부유식 풍력발전단지 운영으로 인해 선박통행이 금지되어 1,114 km²(전체 부유식 해상풍력 발전사업의 공유수면 점·사용 면적; <Table 2>)에 달하는 조업구역이 축소될 것으로 예상되므로 어류 및 수산자원에 대한 현황파악, 예측 및 저감방안 수립이 매우 중요하다.

<Table 5> Opinion on review of environmental impact assessment for Floating offshore wind farm project (O:inclusion, -:exclusion)

Project ID	A	B	C	D	E
Subject					
Physics	○	○	○	○	○
Seawater	○	○	○	○	○
Sediments	○	○	○	○	○
Topography•Geology	○	○	○	○	○
Air•Weather	-	-	-	-	-
Landscape•Light	○	○	○	○	○
Acoustic noise	○	○	○	○	○
Electromagnetic fields	○	○	○	○	○
Plankton	○	-	○	○	○
Benthos	○	○	○	○	○
Nekton	○	○	○	○	○
Marine mammal	○	○	○	○	○
Birds	○	○	○	○	○
Space	○	○	○	○	○
Fishery	○	○	○	○	○
Sociology•Economy	-	-	-	-	-
Resident health	-	-	-	-	-



[Fig. 3] Fish migration route and floating offshore wind farm project area.

어류 및 수산자원에 대한 평가서 작성 현황을 분석한 결과 대부분의 평가서에는 계절별 조사가 이루어지지 않았으며, 조사 방법, 예측·평가 및 저감방안 제시가 원론적으로 제시되어 있었다.

따라서 환경영향평가 본안 단계에서는 문헌

조사뿐만 아니라 5년 이상 장기간에 걸친 수협 계통자료와 계절별 조사를 통해 수산자원의 장·단기 분포 특성을 파악하고, 현장조사 시에는 해상 풍력 발전사업 대상 해역에서 어업인이 실제로 조업 활동에 사용하는 통발, 정치망 등의 어구와 어법을 사용하여 적절한 노력량(자망 폭수, 통발 개수 등)을 투입하여 출현량이 과소평가 되지 않도록 해야 할 것으로 판단되며, 어망의 예인시간, 면적, 상용어구 침지시간을 고려하여 수산자원의 가치를 정량적으로 산정하는 것이 필요할 것으로 분석되었다.

또한 사업대상 해역의 부어류와 저어류를 구분하여 산란·회유 시기별 주요 어종과 회유 경로 등에 대하여 정성적으로 기술하고, 이에 대한 영향을 예측하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

이외에도 어업인의 수용성 확보를 위해서는 조업 구역 축소에 따른 어업 피해 보상 이외에 전문가 자문과 해외사례 수집을 통해 어업인 소득증대

및 복지 사업, 사업 이익 공유 방안 등 수산업과의 상생 협력 방안에 대해서 구체적인 로드맵과 실천 방안 제시가 필요하다. 최근 논문에 따르면 부유식 해상풍력 발전기의 배치 간격(750~1,000 m) 사이의 공유수면을 활용하여 참다랑어 가두리를 설치하는 모델을 제시하여 동해 부유식 해상풍력 발전단지외 양식장 공존모델을 제시하는 등 상생 방안에 대한 연구들이 이루어지고 있으므로(Choi et al., 2021), 이러한 방법 또한 활용이 가능할 것으로 판단된다.

나. 수중소음

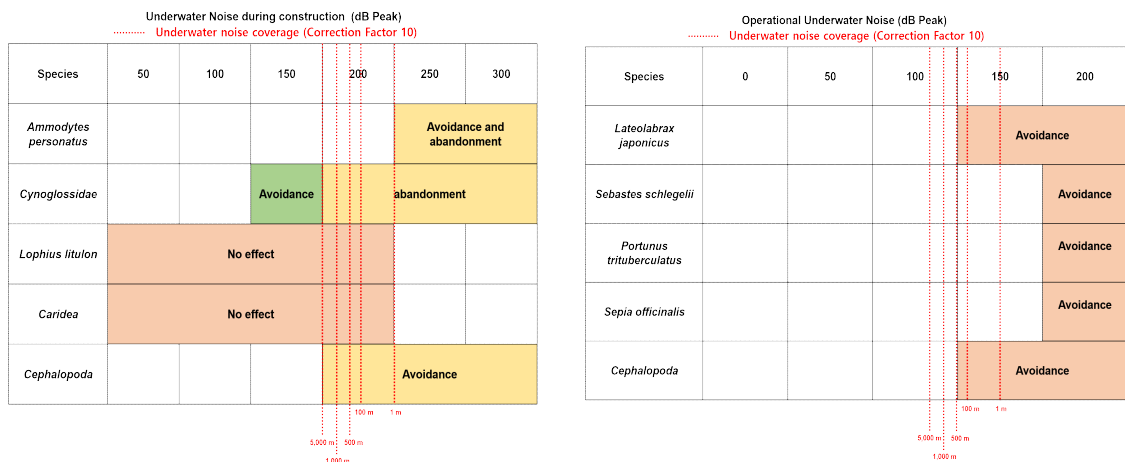
해상풍력 발전단지의 해양환경영향평가 시 중요한 평가항목 중 하나로 인식되고 있는 항목 중 하나는 수중소음이며, 수중소음은 육상보다 더 먼거리까지 전파되기 때문에 공사 중과 운영 시 인근 해역에 서식하거나 회유하는 모든 해양 동물(해양포유류 포함) 및 수산 생물에게 영향을 미친다(Kim et al., 2022; Thomsen et al., 2006).

해양수산부의 해상풍력 가이드라인에 따르면 수중소음 측정 시 해수면으로부터 수심 절반에서 측정하는 것을 권고하고 있지만, 일부 평가서의 경우 해저케이블 구간과 풍력발전기 설치구간이 조사정점에서 누락되거나, 전체 사업대상 해역에 대한 수심 자료를 제시하지 않고, 임의의 수심(1,

2, 5, 10 m)에서 조사를 진행하는 등 조사 방법이 미흡하였다. 또한 공사 중 소음이 발생하는 해저 케이블 구간에 대한 배경 수중소음을 측정하지 않거나, 인위적인 잡음을 제거하지 않고 배경 수중소음 결과를 나타내고, 풍향·풍속에 따른 수중소음의 영향을 고려하지 않은 평가서도 있었다.

또한 부유식 풍력발전 사업이 이루어지는 해역에서 서식하는 주요 해양생물 중에 대한 소음원별(케이블 매설, 항타 작업, 운영 시 블레이드 소음 등; Kim et al., 2022) 수중소음 예측 또한 이루어지지 않고 있었다. 미국과 유럽의 경우, 사업대상 해역에 서식하는 주요 종을 파악한 후 해당 종에 대한 영향을 예측·평가하고, 소음 기준(영국: ETSU-R-97, 뉴질랜드: NZS 6808)을 설정하여 관리하며, 실제 조사를 통해 수산 생물에게 미치는 영향을 파악하고 있다(Scott et al., 2018; Hutchison et al., 2020; Lee et al., 2021).

따라서 수중소음을 예측할 때는 먼저 사업대상 해역 내에 주로 출현하는 생물을 파악하고, 주요 출현 생물별 청각역치(민감도) 및 주파수 대역을 고려하여 예측·평가를 진행해야 할 것으로 판단된다([Fig. 4]). 현재, 우리나라의 경우 아직 수중소음에 대한 기준이 마련되어 있지 않은 실정이므로, 외국 사례 분석과 실제 조사를 통한 영향



[Fig. 4] Example of predicting underwater noise damage range by fish species.

파악이 필요하며 국내 수중소음에 대한 기준설정이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

평가서에서 제시한 수중소음 저감방안으로는 해양포유류가 공사구역을 회피할 수 있도록 음향 경고장치를 활용할 것으로 제시하였지만, 어떠한 모델(장비)을 사용할 것인가에 대한 구체적인 언급이 없이 원론적인 기술에만 그쳐, 공사 및 운영 시 발생하는 수중소음에 대한 저감방안 제시가 미흡하였다.

해양포유류의 경우 중에 따라 가청 주파수 범위가 다르고, 고래류의 경우 3~120 kHz까지 주파수 대역별로 적용 가능한 다양한 종류의 음향 경고 장치가 있다(<Table 6>). 따라서 사업구역 인근 해역에서 서식하는 포유류의 특성에 맞는 음향 경고 장치를 선택하고, 사용모델에 대한 정보를 상세히 제시하여 수중소음에 대한 저감방안의 실효성 확보가 필요할 것으로 판단된다.

이외에도 부유식과 고정식 해상풍력 발전기는 설치하는 방법이 다르므로 국외 부유식 해상풍력 설치 사례를 참고하여 국내 부유식 해상풍력에 적합한 구체적이고 실효적으로 적용 가능한 수중소음 방안을 제시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다. 전자기장





해상 송전선로 및 부유식 풍력 발전소 운영 시, 전자기장 발생으로 인해 지구 자기장을 이용하여 이동하는 어류나 해양포유류의 행동 및 회유에 교란이 될 수 있는 것으로 보고되었지만(Kim et al., 2021), 평가서 내에서는 해상풍력발전기에서 발생하는 전자기장이 수산생물 행동에 미치는 영향 범위 및 교란에 대한 영향 예측이 미흡하였다.

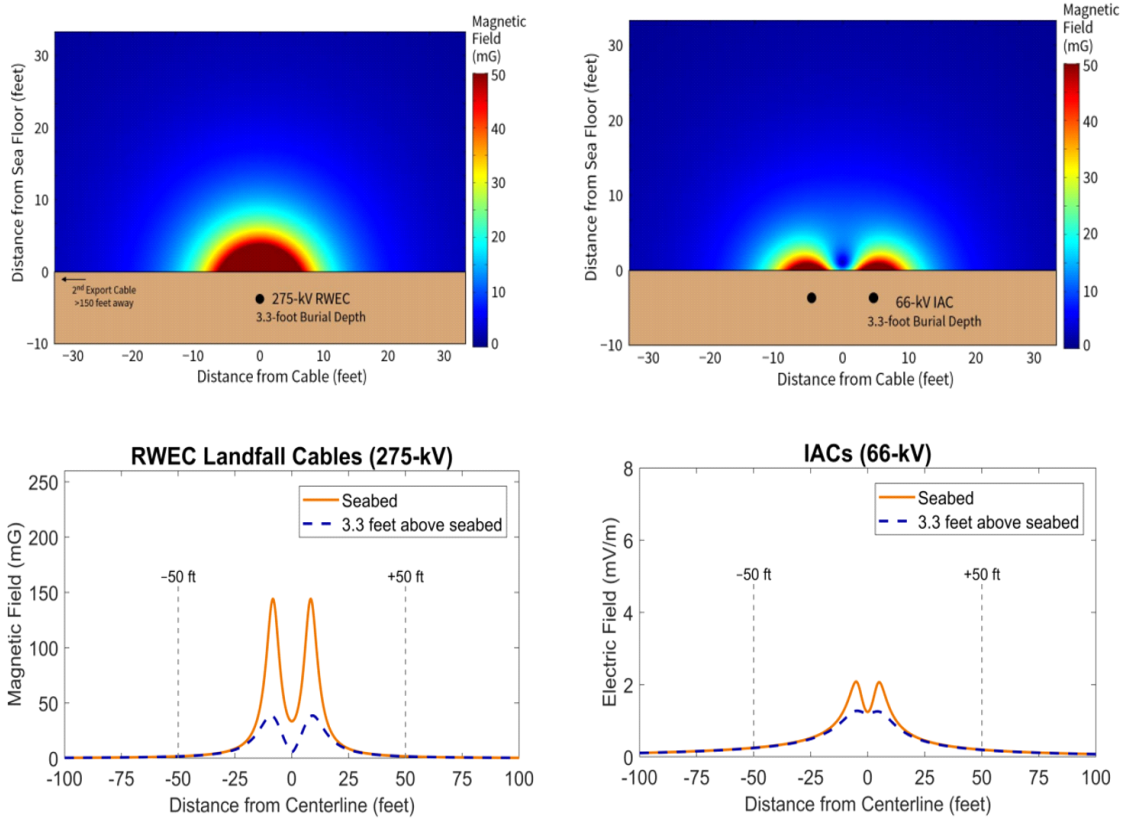
미국과 유럽의 경우, 해상풍력 발전단지 주변에 전자기장 조사를 진행하여 그 결과를 [Fig. 5]과 같이 나타내고, 공사 전과 공사 후의 전자기장의 변화를 파악한다. 하지만, 국내에서는 현재까지 전자기장과 어류 등 해양생물 영향의 역학관계에 대한 일관성 있는 조사 결과가 없는 실정이며,

이렇게 제한된 연구 결과만으로는 전자기장에 대한 영향을 명확히 예측하기 어려우므로, 사업전 배경 전자기장을 측정하고 운영 시에 발생하는 전자기장 값과 비교·분석을 통한 영향 파악이 필요하다고 판단된다.

전자기장에 대한 저감방안을 제시할 때에는, 전자기장 감쇠 효과에 대한 과학적 근거를 명시하고, 해양 송전선로와 해양 변전소 주변에서 발생

<Table 6> Acoustic deterrent device (ADD) types (Future Oceans, 2022)

Type	Frequency range	Marine mammal	Figure
NCT Guard	60 ~ 120 kHz	Dolphin	
NCT Shield	60 ~ 120 kHz	Dolphin	
NCT Shield	3 ~ 12 kHz	Whale, Dolphin	
NCT Shield	3 kHz	Whale	



[Fig. 5] Example of international electromagnetic field measurements(BOEM, 2021).

하는 전자기장 노출을 최소화할 수 있도록 차폐 장치 설치방안을 상세하게 제시할 필요가 있는 것으로 분석되었다. 또한 부유식 해상풍력 발전 단지를 최소 20년 이상 운영할 계획이므로, 장기간 전자기장 노출에 따른 영향을 평가할 수 있도록 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 국내 부유식 해상풍력발전 사업의 사전환경성 평가 사례 분석을 위해 환경영향 평가서를 검토하였으며, 이를 바탕으로 입지의 타당성, 해양환경영향조사 현황 및 중점적으로 평가해야 할 어류 및 수산자원, 소음진동, 전자기장에 대한 평가현황을 분석하고 시사점을 제시하였으며,

결과는 다음과 같다. 첫째, 동해 부유식 해상풍력 발전단지는 폐기물 배출해역과 공간적인 입지가 상충되므로 이에 대한 타당성 제시가 필요하며, 둘째, 해양환경에 대한 영향을 평가할 때 해역이용 영향평가 평가서 작성 가이드라인을 이용하여 표준화된 방법을 활용하고, 공동조사를 통해 누적 영향을 파악하는 등 조사 방법의 효율화가 필요하다. 셋째, 실제 어업에 활용하는 어구와 어업을 사용한 어류 및 수산자원에 대한 출현량 조사가 필요하다. 넷째, 수중소음과 전자기장의 경우 연구 사례가 충분하지 않고 국내 기준이 마련되어 있지 않은 실정이므로, 과학적 연구를 통해 국내 기준을 마련하는 것이 우선되어야 할 것이다.

References

- BOEM(2021) Revolution Wind Farm Offshore Electric-and Magnetic-Field Assessment, Exponent, p80, 1~80.
- Chio SY, Moon BS and Kim TG(2021) The maritime environment impact assessment of offshore floating wind power in Ulsan - A focus on habitat equivalence analysis. *J Navig Port Res* 45, 130~137. <https://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2021.45.3.130>.
- Choi GH, Jung RT, Lee BH and Shin KB(2018) Research for validity of building offshore floating wind power field at East Sea and compatibility of floating wind turbine generator. *J Kor Soc Mar Environ Energy* 21, 64~75. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2018.21.2.64>.
- Choi GH, Kim MJ, Jand KH and Kim HS(2021) A study on the building of tuna farming in floating offshore wind power generation field at East Sea. *J Kor Soc Coast Ocean Eng* 33, 179~186. <https://doi.org/10.9765/KSCOE.2021.33.5.179>
- Choi KY, Lee SG, Leem KH, Joung MS and Kim T Y(2023) Searching for Ways to Manage Public Conflicts for Sustainable Offshore Wind Power Development. *JFMSE* 35, 547~559. <https://doi.org/10.1300/JFMSE.2023.6.35.3.547>.
- Future Oceans(2022) Website on Our Pingers. Retrieved from <https://www.futureoceans.com/our-pingers/> on Spe 26.
- Hutchison ZL, Gill AB, Sigray P, He H and King JW(2020) Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behavior of bottom-dwelling marine species. *Sci Rep* 10, 4219. <https://doi.org/DOI: 10.1016/j.rser.2020.110328>.
- Jeong DG and Rho HK. 1998. Utilization of the information of fishing and sea condition for common squid (*Todarodes pacificus*) Using angling in the East Sea: Relationships between fishing ground and Sea temperature. *JFMSE* 10, 31~52.
- Kim B, Jin G, Lee J, Lee C and Khim JS(2022) Range of biological effects and threshold values on marine fish and invertebrates by underwater noise. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2022.25.1.9>.
- Kim BM, Kim SJ, Moon SD, Lee SJ and Choi TS(2021) Effect of electromagnetic fields on marine organisms and effect assessment based on scientific grounds. *J Kor Soc Mar Environ energy* 24, 282~299. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2021.24.4.282>.
- Lee CK, Noh JS, Kwon Bo and Kim JS(2021) A Review on marine environmental impact assessment for offshore wind farm: Status, Issue, and Future Direction. *J kor Soc Mar Environ Energy* 24, 201~209. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104141>.
- Lee CY(2021) Estimating the economic effect of the renewable energy industry by energy transition. *Innovation studies* 16, 247~274. <https://doi.org/10.46251/INNOS.2021.8.16.3.247>.
- Lee HM and Maeng JH(2022) A study on implications and improvement plans for the developing consultation guidelines for environmental assessment of offshore wind power development projects. *J Environ Impact Assess* 31, 449~464. <https://doi.org/10.14249/eia.2022.31.6.449>.
- MOEF(2019) Website on moef, Retrieved from <https://moef.go.kr/sch/schMain.do>. Accessed. 23. Aug.
- MOF(2022a) The guideline for sea area utilization impact assessment(SAUIA) of offshore wind power. Ministry of Oceans and Fisheries, 1~185.
- MOF(2022b) Discharge area management and monitoring guidelines. Ministry of Oceans and Fisheries, 1~29.
- MOTIE(2023) Website on press release, Retrieved from <https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsList.do> on July 31.
- Oh HT and Yeo MY(2019) Status and Improvement of Marine Environmental Impact Assessment for Offshore Windfarm Project. *JFMSE* 31, 1470~1481. <https://doi.org/10.1300/JFMSE.2019.10.31.5.1470>.
- Oh HT, Yeo MY, Jung HE and Shim JM(2020) Status and improvement of environmental impacts assessment on the marine endangered species around the Coastal area of Offshore wind energy -Case study of the Marine Mammals and Sea birds. *JFMSE* 32, 1428~1444. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1428>.
- Oh JT, Chung Y, Jeon G and Shim J(2021) Review of the marine environmental impact assessment reports regarding offshore wind farm. *Fish Aquat Sci* 24, 341~350. <https://doi.org/10.47853/FAS.2021.e33>
- Park JH and Kim BS(2019) A comparative study on government's policy for offshore wind power development between major European country and

- korea. *New&Renewable energy* 15, 1~26.
<https://doi.org/10.7849/ksnre.2019.9.15.3.011>.
- Park M, Park S, Seong B, Choi Y and Jung S(2021) Current status and prospective of offshore windpower to achieve Korean renewable energy 3020 plan. *J Korean Soc Environ Eng* 43(2), 196~205.
<https://doi.org/10.4491/KSEE.2021.43.3.196>.
- Pham TQM, Im SW and Choung JM(2021) Prospects and economics of offshore wind turbine systems. *J Ocean Eng Technol* 35, 382~392.
<https://doi.org/10.26748/KSOE.2021.061>.
- Scott K, Harsanyi P and Lyndon AR(2018) Understanding the effects of electromagnetic field emissions from Marine Renewable Energy Devices (MREDs) on the commercially important edible crab, *cancer pagurus* (L). *Mar Pollut Bull* 131, 580~588.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.062>.
- SFOC(2023) Reported of the offshore wind power licensing problems and improvement. Solution for our climate, 1~28.
- Shin HK(2019) Floating offshore wind energy generation. *Journal of wind energy* 10, 5~12.
<https://doi.org/10.33519/kwea.2019.10.4.001>.
- Spearman DK and Strivens S (2020) Floating Wind Joint Industry Project - Phase II Summary Report. UK: Carbon Trust. Retrieved from
https://prod-drupal-files.storage.googleapis.com/documents/resource/public/FWJIP_Phase_2_Summary_Report_0.pdf
- Thomsen F, Lüdemann K, Kafemann R and Piper W(2006) Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd. 1~62.
- Woo JH and Na WB(2013) A Capstone Design Case Study for Offshore Wind Power. *JFMSE* 25, 167~180.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2013.25.1.167>.
-
- Received : 17 October, 2023
 - Revised : 08 November, 2023
 - Accepted : 16 November, 2023